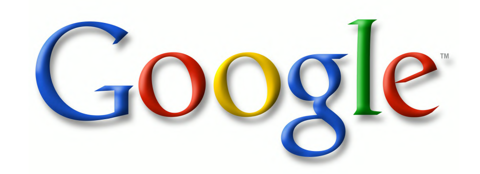
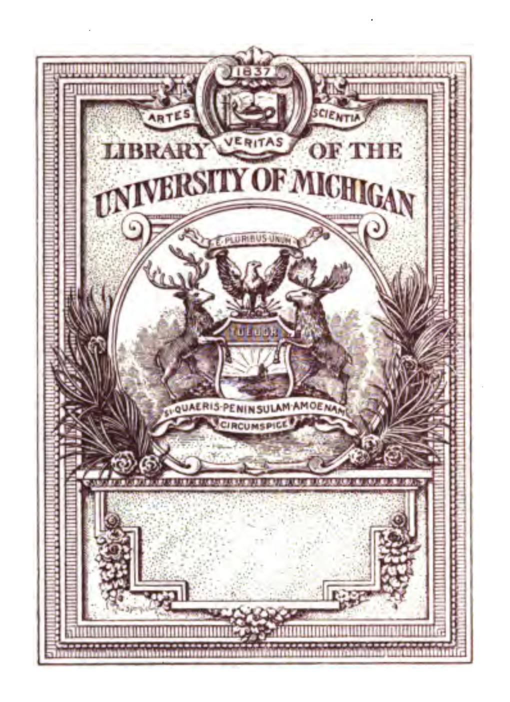
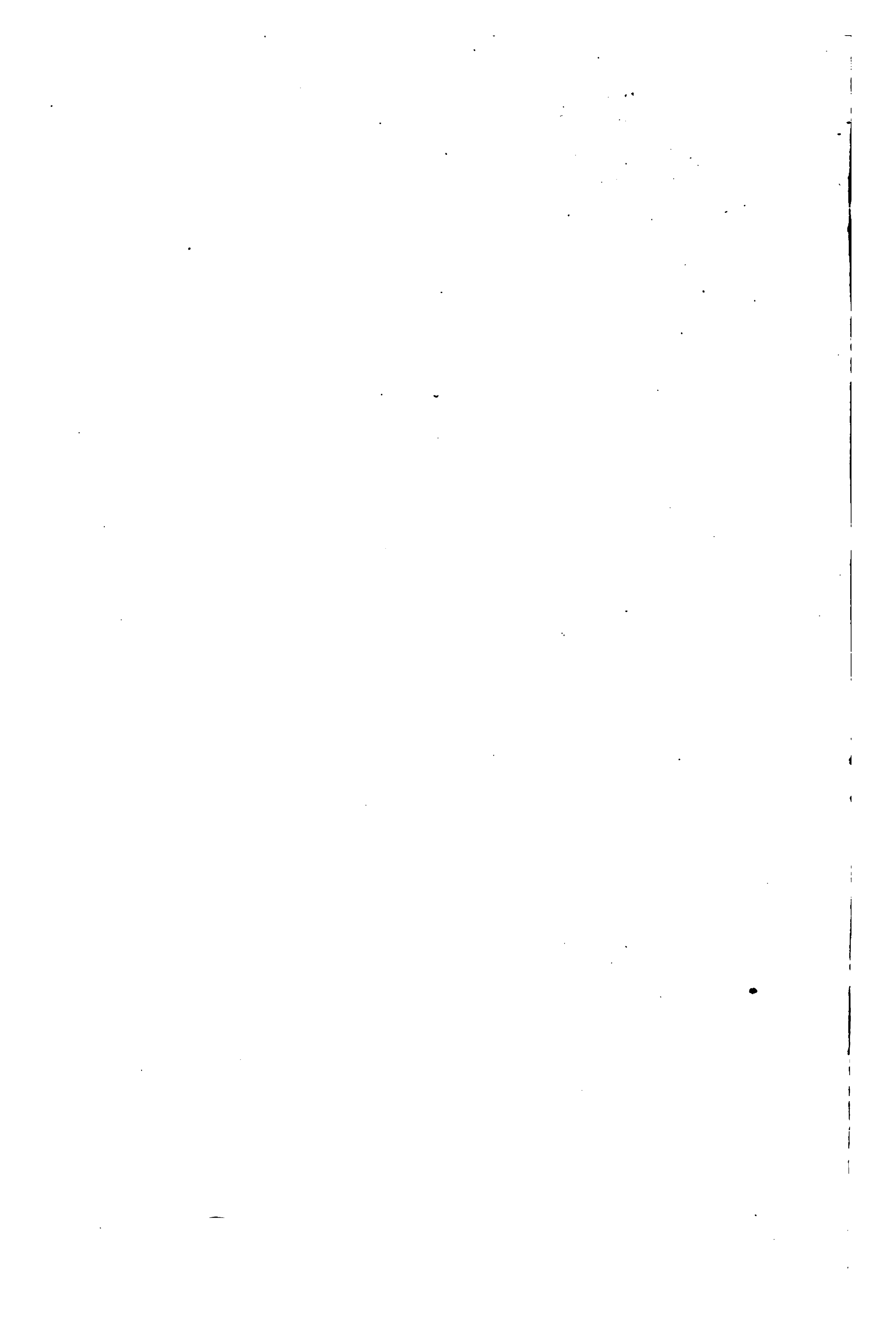



1837
ARTES
SCIENTIA
VERITAS
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
E PLURIBUS UNUM
TUEBOR
SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM
CIRCUMSPICE



EXPERIMENTIERENDE PHYSIK

VON

DR. K. SCHREBER UND DR. P. SPRINGMANN

ZUGLEICH VOLLSTÄNDIG UMGEARBEITETE, DEUTSCHE AUSGABE

VON HENRI ABRAHAM'S

RECUEIL D'EXPÉRIENCES ÉLÉMENTAIRES DE PHYSIQUE

I. BAND

MIT 230 ABBILDUNGEN



LEIPZIG
VERLAG VON JOHANN AMBROSIUS BARTH
1905

Druck von Metzger & Wittig in Leipzig.

Vorwort.

Das Studium der Anfangsgründe der Physik eignet sich wie das kaum einer anderen Wissenschaft dazu, die kritisch sichtende, ordnende Tätigkeit des Verstandes derart zu schulen, daß er imstande ist, aus einer Reihe richtig beobachteter Erscheinungen das ihnen zu Grunde liegende Gesetz herauszulesen. Dieses Ziel wird am vollkommensten durch selbständiges Anstellen von Versuchen und eigenes Verarbeiten der durch sie gewonnenen Beobachtungen erreicht.

Aus dieser Ansicht heraus entstand der Plan, ein Physikbuch zu schaffen, welches in erster Linie den Zweck verfolgt, die Beobachtungsgabe zu schärfen und das physikalische Denken zu üben, dagegen die Aneignung einer mehr oder weniger großen Anzahl von physikalischen Einzelheiten, mögen sie augenblicklich auch noch so interessant sein, in die zweite Stelle rücken läßt.

Das im Auftrage der „Société française de Physique“ von H. Abraham unter Mitwirkung zahlreicher Physiker (Namensverzeichnis am Schluß des Vorwortes) herausgegebene Recueil d'expériences élémentaires de Physique verfolgt dasselbe Ziel und schien daher einer deutschen Bearbeitung wert zu sein. Bei genauer Durchsicht stellte sich aber heraus, daß dieses Werk eine zu große Ungleichmäßigkeit in dem Wert der einzelnen ausgewählten Versuche und in ihrer Darstellung zeigt, als daß eine dem Original auch nur annähernd gleichartige Bearbeitung dem deutschen Geschmack entsprechen könnte. Wir entschlossen uns daher, ein nahezu völlig neues Buch zu verfassen.

Die auf diese Weise entstandene „Experimentierende Physik“ enthält eine systematische Behandlung der Physik in einfachen und mit verhältnismäßig wenig Hilfsmitteln ausführbaren Experimenten. Die Darstellung der Versuche ist so eingerichtet, daß der Experimentierende stets in der Lage ist, das der Beobachtung zu Grunde liegende Gesetz selbst zu finden; den Fragen, die ihn hierbei leiten sollen, ist eine solche Form gegeben, das sie aus der Beobachtung stets beantwortet werden können und daß die gefundene Antwort auf jeden Fall die richtige ist.

Aus Rücksicht auf die leichte Ausführbarkeit der Versuche haben wir die Vollständigkeit des Lehrganges nicht überall innehalten können, sondern Gesetze, deren Nachweis umständliche und kostspielige Ver-

suchsanordnungen bedingt, weggelassen. Dagegen haben wir uns bemüht, auch schwierige Gesetze, wenn zu ihrer Beobachtung eine einfache Versuchsanordnung ausreicht, zum Verständnis zu bringen, und haben dort, wo wir meinten, die zum Auffinden des Gesetzes erforderliche Übung in der Anwendung der mathematischen Kenntnisse nicht voraussetzen zu dürfen, die nötigen mathematischen Operationen mehr oder weniger angedeutet, das Gesetz selbst aber nicht genannnt.

Das Buch erscheint in zwei Teilen. Der erste Teil enthält „Mechanik fester, flüssiger und gasförmiger Körper", „Akustik" und „Wärme" und als Einleitung „Werkstattarbeiten". Wenn auch zu Beginn eines jeden Versuches Ratschläge zur Anfertigung der Apparate gegeben werden, so erschien es uns doch wünschenswert, die technischen Vorbereitungen nicht zu sehr in den Vordergrund treten zu lassen und deshalb häufig wiederkehrende Arbeiten in einen besonderen Abschnitt zu verweisen. Wir haben uns aber in der Annahme, daß jeder sich die wenigen einfachen Handgriffe für die Benutzung von Werkzeugen am besten von einem ihm bekannten Handwerksmeister zeigen läßt, auf eine kurze Andeutung der Arbeiten, bisweilen sogar auf die Angabe der hauptsächlichsten Werkzeuge beschränkt. — Der zweite Teil enthält „Optik" und „Elektrizität" und als Einleitung „Schreibtischarbeiten". Auch diese Einleitung dient zur Entlastung in der Bearbeitung der einzelnen Versuchsnummern. Sie gibt an der Hand einzelner ausführlich behandelter Beispiele eine Anweisung, wie man die durch Beobachtung gefundenen Zahlen geordnet zusammenstellt und wie man sie nachher mathematisch behandeln muß, um aus ihnen physikalische Gesetze abzuleiten.

Beiden Teilen ist ein systematisches Inhaltsverzeichnis beigegeben; der zweite wird außerdem noch ein ausführliches, nach Stichworten alphabetisch geordnetes bringen.

Wir hoffen, daß die „Experimentierende Physik" allen, die sie in die Hand nehmen, zu selbständigem, experimentellem Forschen Anregung geben und ihnen die Freude verschaffen wird, aus eigener Tätigkeit allgemein gültige Gesetze gefunden zu haben.

Wir halten das Buch aber auch für geeignet, als Leitfaden für den ersten physikalischen Laboratoriumsunterricht dienen zu können. In Amerika und England ist dieser Unterricht schon seit lange auf Schulen eingeführt; in Frankreich ist man dem Beispiele gefolgt und hat eben deshalb die Herausgabe des „Recueil d'expériences" veranlaßt. Auch in Deutschland mehren sich die Stimmen für die Einführung dieses Unterrichtes, die vorteilhafteste Einrichtung desselben wird bereits eingehend geprüft.[1]) Den hierauf gerichteten Bestrebungen mit unserem Buch entgegenzukommen ist unser Wunsch.

Dresden und Stettin, im August 1905.

Die Verfasser.

---

[1]) H. Hahn: Wie sind physikalische Schülerarbeiten praktisch zu gestalten? Sonderhefte der Zeitschrift für den physik. und chem. Unterricht. Heft 4.

Verzeichnis der Mitarbeiter am französischen Text.

1. d'Aladern, Chartres.
2. Adam, Nancy.
3. Andrault, Gap.
4. Appleyard, London.
5. Aubert, Paris.
6. Badiou, Bourges.
7. Basset, Bourges.
8. de la Baume Pluvinel, Paris.
9. Behn, Frankfurt a. M.
10. Benoist, Paris.
11. Benoît, Sèvres.
12. Berlemont, Paris.
13. Bertoux, Lille.
14. Bichat, Nancy.
15. Birkeland, Christiania.
16. V. Bjerknes, Stockholm.
17. Bloch, Paris.
18. Blondel, Paris.
19. Bongiovanni, Ferrara.
20. Bouasse, Toulouse.
21. Boucher, Saint-Servan.
22. Brillouin, Paris.
23. Brunhes, Clermont-Ferrand.
24. Buguet, Rouen.
25. Buisson, Marseille.
26. Cailletet, Paris.
27. Camichel, Toulouse.
28. Carvallo, Paris.
29. Cassie, London.
30. Chabrier, Nizza.
31. Chair, Belfort.
32. Champigny, Paris.
33. Chassagny, Paris.
34. Chrétien, Saint-Brieuc.
35. Colardeau, Paris.
36. Colin, Paris.
37. Colin, Rennes.
38. Colomb, Paris.
39. Combet, Tunis.
40. Cotton, Paris.
41. Crova, Montpellier.
42. Curie, Paris.
43. d'Arsonval, Paris.
44. Dauvé, Beaune.
45. Le R. P. Dechevrens, Jersey.
46. Delvalez, Paris.
47. Desgranges, Savenay.
48. Devaux, Brest.
49. Dongier, Paris.
50. Droit, Paris.
51. A. Dufour, Paris.
52. H. Dufour, Lausanne.
53. Fabry, Marseille.
54. Farge, Roanne.
55. Fernique, Paris.
56. Féry, Paris.
57. Fischer, München.
58. Forel, Morges.
59. Fotschidlovsky, Odessa.
60. Foussereau, Paris.
61. Foveau de Courmelles, Paris.
62. Frécaut, Asnières.
63. Gadot, Paris.
64. Gallotti, Paris.
65. Gariel, Paris.
66. J. Gay, Paris.
67. Gernez, Paris.
68. Gheury, Manchester.
69. Gibert, Paris.
70. Girardet, Paris.
71. Godefroy, Paris.
72. Goldhammer, Kasan.
73. Gouré de Villemontée, Paris.
74. Le R. P. de Groot, Oudenbosch.
75. Guillaume, Sèvres.
76. Guthe, University of Michigan.
77. C.-E. Guye, Genf.
78. Halloch, New-York.
79. Haudié, Brest.
80. Henry, Reims.
81. Hesehus, St. Petersburg.
82. Hillairet, Paris.
83. Hoffmann, Paris.
84. Izarn, Clermont-Ferrand.
85. Janet, Paris.
86. Jarias, Bourg.
87. Joubert, Paris.
88. Juppont, Toulouse.
89. de Kowalski, Freiburg.
90. Langevin, Paris.

91. Lamirand, Toulouse.
92. Larousse, Nevers.
93. Lauriol, Paris.
94. Le Bon, Paris.
95. Leduc, Nantes.
96. Jules Lemoine, Paris.
97. G. Lemoine, Paris.
98. Lenoir, Brest.
99. Lermantoff, Petersburg.
100. Léry, Paris.
101. Lespieau, Paris.
102. Limb, Lyon.
103. Looser, Essen.
104. Lugol, Paris.
105. Macé de Lépinay, Marseille.
106. Maltézos, Athen.
107. Marage, Paris.
108. Marey, Paris.
109. Mascart, Paris.
110. Massoulier, Paris.
111. Mathias, Toulouse.
112. Mathieu, Evreux.
113. Mazotto, Sassari.
114. van der Mennsbrugghe, Genf.
115. Marcanton, Lausanne.
116. Merlin, Châlons sur Marne.
117. Métral, Paris.
118. Moreau, Rennes.
119. Morin, Montluçon.
120. Mlle. Mourgues, Paris.
121. MM. Mullin, Chambéry.
122. Munier, Chaumont.
123. von Oettingen, Leipzig.
124. Oosting, Den Helder.
125. Ossendowsky, Wladiwostok.
126. Pellat, Paris.
127. Pérot, Paris.
128. Perreau, Besançon.
129. Perrin, Paris.
130. Petit, Foix.
131. Philippe, Bourges.
132. H. Poincaré, Paris.
133. L. Poincaré, Paris.
134. Poitevin, Paris.
135. Potier, Paris.
126. Raveau, Paris.
137. Remy, Rennes.
138. Revoy, Limoges.
139. Roger, Epernay.
140. Rolland, Poitiers.
141. de Romilly, Paris.
142. Roubault, Sedan.
143. Sacerdote, Paris.
144. Sagnac, Lille.
145. Sandoz, Paris.
146. V. Schaffers, Louvain.
747. Schurr, Montluçon.
148. Schwedoff, Odessa.
149. Sella, Rom.
150. Serres, Paris.
151. Sire, Besançon.
152. Starling, London.
153. Stewart, Newport.
154. Strouhal, Prag.
155. Swyngedauw, Lille.
156. Terrier, Laval.
157. de Than, Budapest.
158. S.-P. Thompson, London.
159. Thouvenel, Paris.
160. Tian, Marseille.
161. Troussewitch, Warschau.
163. Turpain, Poitiers.
164. Vaissières, Carcasonne.
165. Mlle. Venot, Lyon.
166. MM. Villard, Paris.
167. Vincent, Paris.
168. Violle, Paris.
169. Vuillet, Grenoble.
170. Weinberg, Odessa.
171. P. Weiss, Zürich.
172. Ziloff, Warschau.

Inhaltsverzeichnis.

I. Werkstattarbeiten.

1. Tischlerei (Schreinerei). Bei den meisten Tischlerarbeiten, Sägen, Nageln, Leimen, Hobeln gebraucht man die Hobelbank (Fig. 1), einen Tisch oder eine hohe Bank, welche eine ganze Reihe

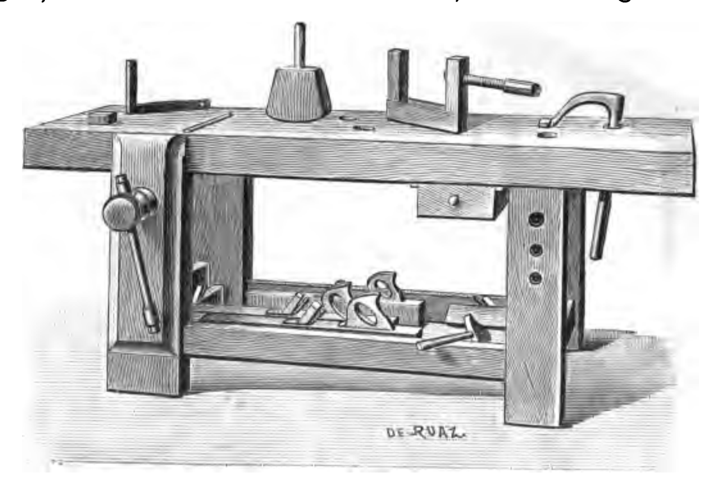


Fig. 1.

verschiedener Vorrichtungen trägt, um das zu bearbeitende Holzstück festzuklemmen.

Die gewöhnliche Handsäge (Fig. 2) ist in einen Rahmen eingespannt, dessen eine dem Sägeblatt parallele Seite aus einem doppelten Strick besteht, welcher mittels eines Knebels mehr oder weniger zusammengedreht werden kann, so daß dadurch das Blatt mehr oder weniger straff gespannt ist. Während des Gebrauches muß das Blatt gespannt sein, nach dem Gebrauch soll es durch Zurückdrehen des Knebels jedesmal wieder entspannt werden.

Das Blatt kann mit Hilfe der Handgriffe, welche es im Rahmen halten, gegen die Ebene des Rahmens gedreht werden. Man dreht es, wenn nicht die Rücksicht auf das abzusägende Brett es anders bedingt, so, daß seine Ebene genau in die Richtung des zu sägenden

Schnittes fällt, wenn man den Rahmen ohne Drehung des Armes in der Hand hält. Bevor man mit dem Sägen beginnt, überzeuge man sich, daß das Blatt eine Ebene und keine Schraubenfläche bildet. Die Säge ist so zu fassen, daß die Zähne beim Strecken des Armes, Stoßen, Drücken in das Holz eingreifen.

Längs der Faser teilt man das Holz wohl auch einfach durch ein Beil und glättet die Spaltestelle nachher durch ein Schnittemesser (Schnitz- oder Ziehmesser) (Fig. 3), für welche Arbeit man häufig eine besondere Schnitzelbank zur Verfügung hat.



Fig. 2.

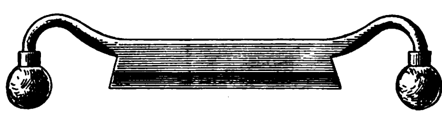


Fig. 3.

Bretter glättet man mit dem Hobel (Fig. 4). Das sind mehr (Schlichthobel) oder weniger lange Holzklötze, welche in ihrer Mitte ein Messer führen, dessen Schneide aus der unteren, recht glatten Fläche des Hobels etwas hervorsieht. Je mehr es hervorsteht, um so gröbere Späne reißt der Hobel, um so rauher bleibt das Brett. Will man die Fläche ganz glatt haben, so läßt man das Messer nur sehr wenig hervorsehen. Man regelt die Stellung des Messers durch Hammerschläge auf das Messer selbst (Hervortreiben des Messers) oder auf das hintere, den Handgriff tragende Ende des Hobels (Zurückholen des Messers). Ein auf dem Messer

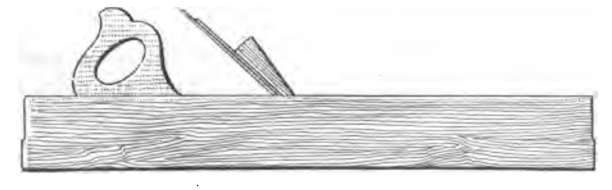


Fig. 4.

liegender Holzkeil dient zum Festklemmen desselben und muß, wenn die gewünschte Stellung erreicht ist, durch einen Hammerschlag angezogen werden. Die Messer und damit auch die führende Fläche des Hobels sind nicht immer geradlinig bezw. eben, sondern

haben oft verschiedene Formen: Simshobel, Nutenhobel, Rundhobel, allgemein Fassonhobel.

Aneinandergeleimte Bretter klemmt man entweder in die Hobelbank oder in besondere Klemmen (Fig. 5) ein, bis sie getrocknet sind. Die in der Figur gegebenen Bretter sind an der geleimten Fuge mit Fassonhobel bearbeitet.

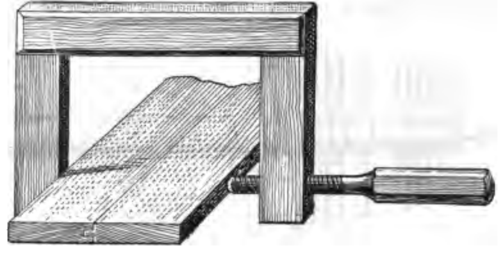


Fig. 5.

Nuten, welche nicht die ganze Länge des Brettes haben, haut man mit Hilfe von Stemmeisen (Fig. 6) in die Bretter, indem man mit einem Hammer (Holzhammer) auf den Stiel schlägt. Das Stemm-

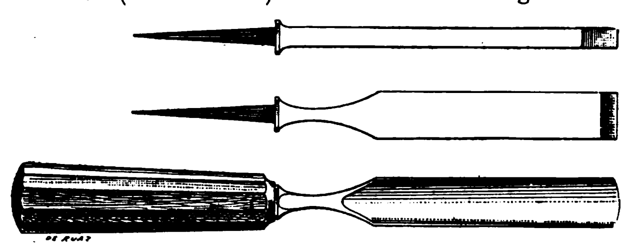


Fig. 6.

eisen muß so aufgesetzt werden, daß die schräge Seite der Schneide nach dem Holz zu liegt.

Runde Löcher erhält man mit Hilfe der verschiedenen Arten

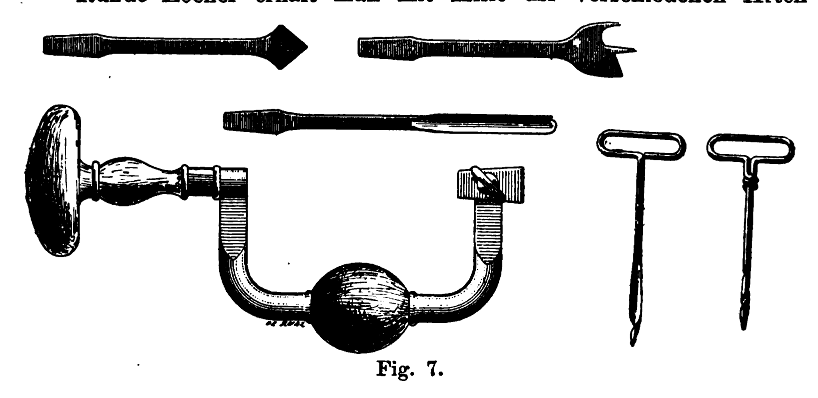


Fig. 7.

von Bohrern (Fig. 7), die als einfache Handbohrer entweder unmittelbar mit der Hand oder als Zentrumsbohrer mit Hilfe der Brustleier gedreht werden.

Zum Schneiden von Korken bedient man sich recht scharfer schmaler Messer, welche man mehr zieht als drückt, mit denen man also gewissermaßen eine Sägebewegung ausführt. Zum Bohren von Korken bedient man sich besonderer Korkbohrer (Fig. 8). Die Löcher werden meist noch mit einer Rattenschwanzfeile (Fig. 11 *B*) nachgearbeitet werden müssen, damit sie die passende Weite bekommen, weil man sie mit dem Bohrer lieber etwas zu eng als zu weit schneiden wird. Umgekehrt ist es mit Korkstopfen, die man stets etwas zu groß schneidet; man preßt sie dann mit der Korkpresse auf die richtige Größe zusammen.

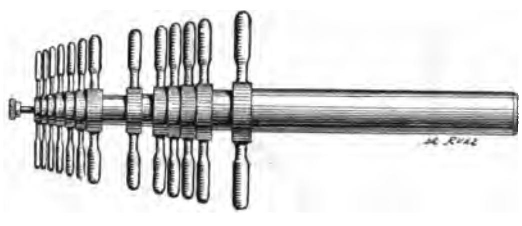


Fig. 8.

2. Drechslerei. Zum Ausführen von Drechslerarbeiten bedarf man einer Drechselbank (Drehbank) (Fig. 9). Mit Hilfe der verschiedenen Arten von Futtern, deren einfachstes ein Dreizack ist, wird das zu bearbeitende Stück Holz auf die sich drehende Seite der Drehbank so aufgesteckt, daß es sich mit ihr dreht. Das andere Ende wird gegen die Spitze des auf der Bank verschiebbaren Reitstockes gepreßt. Die Drehstähle haben je nach der Form, welche man dem Holzstück geben will, verschieden geformte Schneiden. Man setzt den Stahl nahezu tangential gegen das Holzstück; dem entsprechend haben auch die Schneiden der Stähle viel Ähnlichkeit mit Messerschneiden.

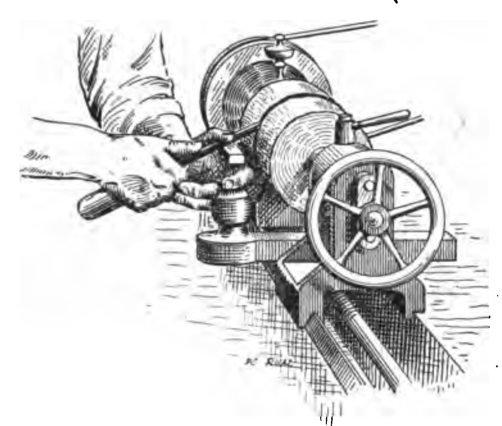


Fig. 9.

Wegen des Staubes, den alle Holzarbeiten bedingen, ist es zu empfehlen, sie in einem besonderen Raum vorzunehmen.

3. Die Schlosserei. Zum Festhalten der zu bearbeitenden Metallstücke dient der Schraubstock (Fig. 10 *A*, *B*), welcher ein- für allemal an der Arbeitsbank festgemacht ist, oder der Feilkloben, Handschraubstock (Fig. 10 *C*). Um empfindliche Oberflächen nicht durch die Zähne der Backen zu beschädigen, hat man Blei-, Zink- oder Kupferbacken (Fig. 10 *A*), welche man über die Backen des

Schraubstockes legt. Gelegentlich wird es sogar vorteilhaft sein, sich aus Holz ganz weiche Backen herzustellen, deren Form man der Form des Gegenstandes möglichst anpaßt.

Zum Bearbeiten der Metalle im Schraubstock dient die Feile

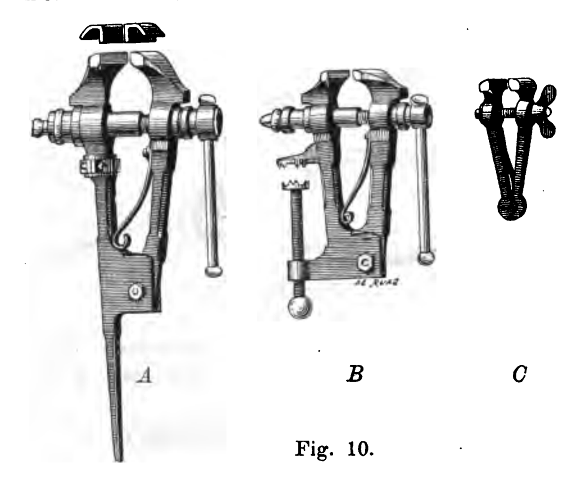


Fig. 10.

(Fig. 11). Für Messing müssen die Feilen schärfer sein als für Eisen, deshalb benutzt man für ersteres die neuen. Gußstücke, welche



Fig. 11.

noch die Gußhaut haben, darf man niemals mit guten Feilen angreifen.

Bleche werden entweder mit der Metallsäge gesägt oder mit der Blechschere (Fig. 12) geschnitten. Zum Schneiden der Drähte benutzt man ebenfalls die Schere oder die Beißzange (Fig. 13). Dicke Metallstücke werden mit Hilfe des Meißels (Kaltmeißel) abgeschlagen.

In dünnen Blechen erhält man Löcher einfach mittels eines Durchschlages oder Locheisens (Fig. 14); bei dickeren muß man

den Bohrer anwenden, den man entweder in die Bohrrolle (Fiedelbogen) oder den Drillbohr einspannt. Ein hinreichend langes

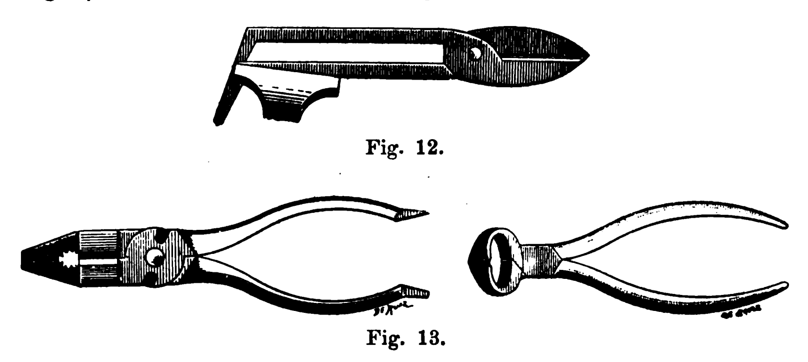


Fig. 12.

Fig. 13.

Stück Fischbein oder ähnliches biegsames Material wird durch einen festen Faden, Sehne oder Darmsaite zu einem Bogen gespannt, der

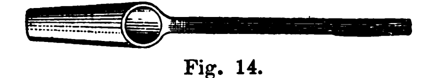


Fig. 14.

Faden einmal um die Bohrrolle geschlungen und dann der Bogen hin und her bewegt. Der Faden dreht die durch Bohr und Bruststück in ihrer Achse gehaltene Rolle und damit auch den Bohr. Der Drillbohr ist eine mehrgängige, sehr steile Schraube, auf welcher die Mutter auf- und abgeschoben werden kann, ohne daß sie sich dreht; es muß sich folglich die Schraube und damit auch der in sie eingesetzte Bohr drehen. Ganz schwere Stücke werden mit der Bohrknarre oder, wenn sie zugänglich sind, auf der Bohrmaschine gebohrt, welche auch durch die Drehbank ersetzt werden kann. Die Mitte des Loches, in welche die Spitze des Bohrers gesetzt werden muß, wird durch den Körner, ein kurzes Stahlstück mit harter Spitze, angedeutet, indem man den Körner auf die richtige Stelle setzt und dann auf ihn einen Schlag mit dem Hammer ausübt.

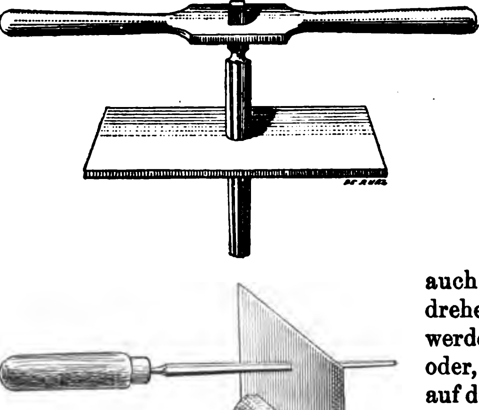


Fig. 15.

Zum Erweitern von Löchern dienen die Reibahlen (Aufreiber) (Fig. 15).

Schraubengewinde, Schraubenspindeln erhält man mit Hilfe der Schraubenkluppen; diese sind entweder ein Stahlstück (Fig. 16), in welches eine Reihe von Schrauben verschiedenen Durchmessers mit einer oder mehreren Spalten zum Herausfallen der Späne eingeschnitten sind, oder sie bestehen aus einem Handgriff (Fig. 17), in welchen zwei das eigentliche Schneidezeug bildende Backen eingesetzt werden können. Die Muttern erhält man mit dem Gewindebohrer (Fig. 18).

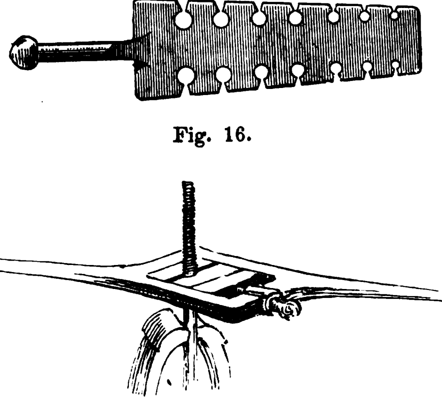


Fig. 16.

Fig. 17.

Um Drähte auf einen kleineren Durchmesser zu bringen, werden sie durch das Zieheisen (Fig. 19) gezogen, nachdem man sie mit Fett eingefettet hat. Damit man den Anfang durch das Loch hindurch bekommt, muß er dünn gefeilt werden. Nachdem man den Draht durch mehrere Löcher von immer kleinerem Durchmesser gezogen hat, muß man ihn wieder von neuem ausglühen. Eisen ist nach jedem Glühen blank zu machen, entweder mit Schmirgelpapier oder durch Säure. Das Anfeilen der Spitze bewerkstelligt man, indem man in den Schraubstock ein Stück Hirnholz klemmt, in dieses eine leichte Nute einfeilt, in welche der Draht paßt, diesen mit dem Feilkloben faßt und dann unter fortwährendem Drehen in der Nute entgegen dem Feilstrich befeilt.

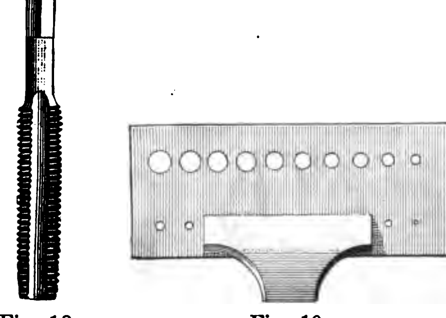


Fig. 18. Fig. 19.

Eisen biegt man, nachdem man es auf dem Schmiedefeuer oder im großen Bunsenbrenner rotglühend gemacht hat. Ist das Eisen während des Biegens kalt geworden, so daß es nicht mehr glüht, so muß es wieder heiß gemacht werden. Messing wird im kalten Zustande gebogen, nachdem man es vorher ausgeglüht hat; dicke Messingstäbe muß man, um sie zu biegen, öfter ausglühen und jedesmal wieder kalt werden lassen.

Will man Röhren biegen, bei denen das Flachwerden zu befürchten ist, so füllt man sie mit Sand oder geschmolzenem Blei.

4. Dreherei, Metalldreherei. Das wichtigste Werkzeug der Dreherei ist die Drehbank.

Die kleinen Drehbänke (Fig. 20), welche für die meisten Fälle ausreichend sind, haben nur einen einfachen Support, auf welchen

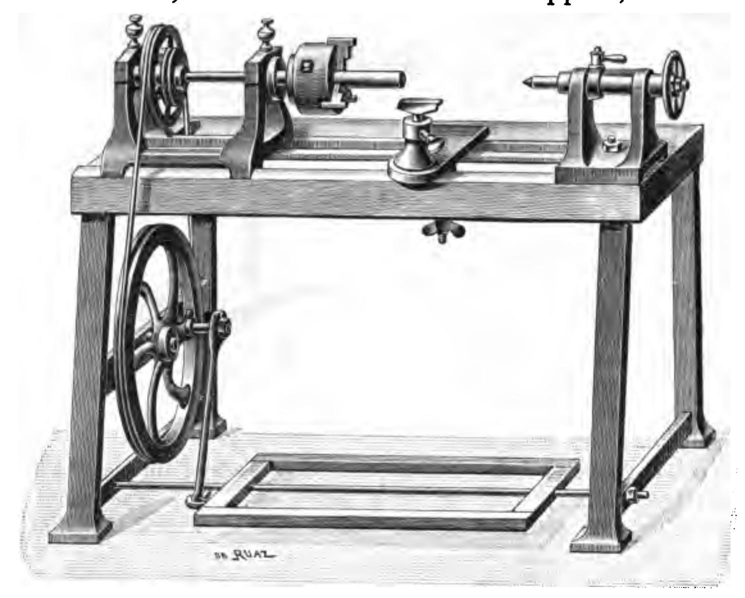


Fig. 20.

die Stähle aufgelegt werden, während sie von Hand geführt und gehalten werden. Bei größeren Bänken werden die Drehstähle auf

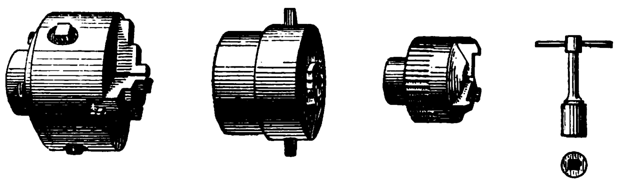


Fig. 21.

dem Support durch Schrauben aufgeklemmt, und dieser selbst kann durch zwei aufeinander senkrechte Schrauben parallel und senkrecht zur Spindel bewegt werden. Meist kann man die parallele Schraube noch um einen meßbaren Winkel gedreht feststellen, so daß man dann konische Stücke erhält.

Die zu bearbeitenden Gegenstände werden mit Hilfe von Futtern, von denen Fig. 21 die wichtigsten zeigt, an die rotierende Spindel der Bank befestigt, so daß sie sich mitdrehen müssen. Ist der Gegen-

stand ein langer Stab, so drückt man die Spitze des Reitstockes gegen ihn und schraubt dann den Reitstock fest.

Beim einfachen Support arbeitet man mit Handdrehstählen (Fig 22), welche sich von den anderen Stählen nur durch den Griff unterscheiden. Die Form der Schneide richtet sich nach dem Zweck, den man verfolgt; häufig wird man sich selbst Stähle von passender Schneide herstellen müssen. Für Messing haben die Stähle einen schneidenden Winkel von ungefähr 66°, für Eisen einen spitzeren. Sie werden so gegen das Arbeitsstück gehalten, daß die Schneide

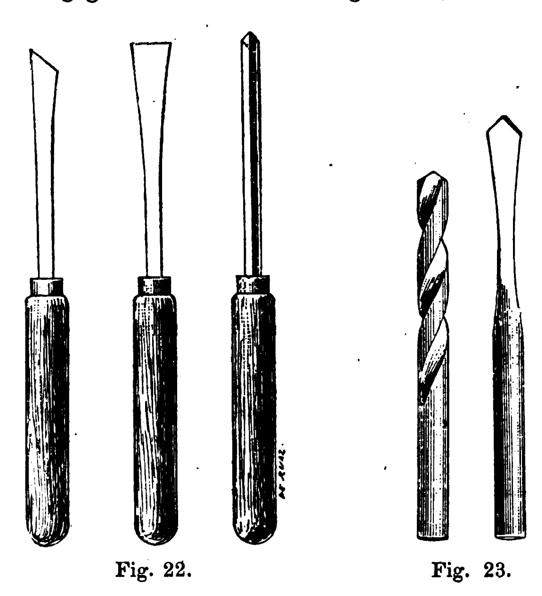


Fig. 22. Fig. 23.

ungefähr die Höhe der Rotationsachse hat. Für Messing darf die Umfangsgeschwindigkeit ungefähr dreimal so groß sein wie für Eisen.

Zum Bohren auf der Drehbank wie in der Bohrmaschine benutzt man hauptsächlich die Spiral- oder Spitzbohrer (Fig. 23), welche mit Hilfe eines passenden Futters auf der rotierenden Spindel befestigt werden. Man kann aber auch den zu bohrenden Gegenstand umlaufen lassen; dann wird der Bohr mit dem Feilkloben festgehalten und mit dem Reitstock nach vorn gedrückt; zu dem Zweck dient das Fig. 20 sichtbare Handrad desselben.

Das Herstellen von Schrauben und Muttern auf der Drehbank erfolgt gerade so wie oben beschrieben, nur daß hier das Drehen durch die Bank besorgt wird. Man spannt also die Spindel bezw. den Gewindebohr in das Futter und hält die Schraubenkluppe bezw. die Mutter mit der Hand oder dem Feilkloben fest, sie mit der Reitstockspitze vorwärts drückend. Das Drehen muß aber sehr langsam vor sich gehen.

Eine bei physikalischen Arbeiten sehr häufige Benutzung der Drehbank ist die zum Wickeln von Spiralen, Spiralfedern. Man spanne zwischen Futter und Reitstockspitze (Fig. 24) einen Zylinder, Messingstab oder Messingrohr, von einem Durchmesser, welcher etwas kleiner ist, als ihn nachher die Spirale haben soll. Den Anfang des Drahtes klemme man im Futter fest. Ein Gehilfe hält den Draht gespannt in einer Entfernung von 2 bis 3 m von der Drehbank, während der Arbeiter selbst auf die richtige Lage der Windungen achtet. Für das Gelingen der Spirale ist es von Wichtigkeit, daß

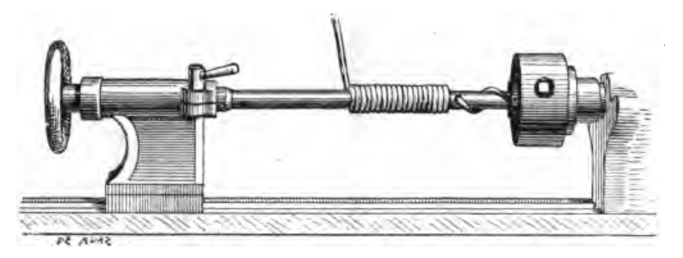


Fig. 24.

die ganze Spirale in einem Zuge mit konstanter Geschwindigkeit und mit konstanter Spannung gewickelt wird. Es ist deshalb vorteilhaft, sich den ganzen Draht vorher auf eine Rolle von großem Durchmesser in Spiralform aufzuwickeln, so daß er dem Gehilfen stets gut zuläuft. Soll die Spirale auf Zug beansprucht werden, so ist Windung neben Windung zu legen. Soll sie dagegen auf Druck beansprucht werden, so muß zwischen den Windungen ein Zwischenraum sein; damit dieser recht gleichmäßig wird, kann man gleichzeitig mit dem Draht einen Bindfaden aufwickeln, dessen Dicke dann den Zwischenraum bestimmt.

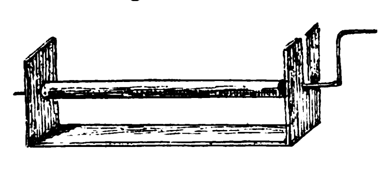


Fig. 25.

Hat man keine Drehbank zur Verfügung, so stelle man sich aus 2 bis 3 mm dickem und ungefähr 2 cm breitem Eisenblech, indem man dessen Enden nach oben biegt, einen Bock her (Fig. 25). In das eine Ende bohrt man ein Loch, in das andere schneidet man von oben her eine Fuge und legt nun über diesen Bock, das eine Ende durch das Loch steckend, das andere in die Fuge senkend, einen Draht, auf den man die Spirale aufwickelt. Damit man den Anfang der Spirale befestigen kann, ist der auf dem Bock liegende Draht in der Nähe des einen Endes durchbohrt. Das andere Ende ist außerhalb des Bockes zu einer Handkurbel gebogen, mit der der Draht gedreht wird.

Blanke Metallgegenstände, namentlich aus Messing, erhalten ein schönes Aussehen, wenn man sie lackiert. Man löse 1 Teil Schellack

in 4 bis 6 Teile absolutem Alkohol auf, indem man ihn in gelinder Wärme längere Zeit, bis zu 24 Stunden, ruhig stehen läßt, und dann vorsichtig abgießt und abfiltriert; alles angewärmt. Auch die Gegenstände, auf welche der Lack aufgetragen werden soll, müssen angewärmt werden. Gold- oder Messinglack erhält man, wenn man zu dem gewöhnlichen Lack etwas in Alkohol gelösten Safran zusetzt. Schwarzen Lack erhält man durch Zusatz von Kienruß zu gewöhnlicher Schellacklösung; nimmt man wenig Ruß, so bleibt der Lack blank, durch viel Ruß wird er matt. Zum Lackieren darf man nur ganz feine Haarpinsel benutzen und muß man stets sorgfältig Pinselstrich neben Pinselstrich ziehen. Der Pinsel ist vorteilhaft gleich nach Gebrauch in Alkohol auszuwaschen.

Ebonit sägt, feilt und dreht man wie Messing. Es muß aber mit besonders gut geschärften Werkzeugen bearbeitet werden, weil es leicht zerbricht. Bei der Bearbeitung an der Drehbank muß der Stahl das Stück oberhalb der Achse angreifen. Bei 100° wird Ebonit biegsam wie Wachs. Diese Eigenschaft kann man zur Herstellung kleinerer Gegenstände aus Ebonit benutzen.

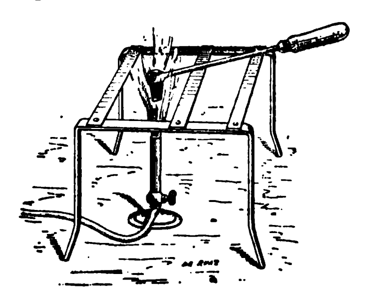


Fig. 26.

5. Das Löten. Große Gegenstände werden mit dem Lötkolben, einem an einem Eisenstiel sitzenden Hammer aus Kupfer, gelötet. Der Lötkolben muß an seiner Schneide verzinnt werden, indem man ihn blank feilt, mit Lötwasser bestreicht und dann so heiß macht, daß daran gehaltenes Zinn schmilzt. Beim Gebrauch wird er nur so heiß gemacht, daß das viel leichter schmelzende Lot, eine Legierung aus gleichen Teilen Zinn und Blei, durch seine Wärme geschmolzen wird. Man erwärmt ihn am bequemsten in einem großen Bunsenbrenner, über welchem ein Rost oder Stativ steht, auf welches der Kolben gelegt werden kann (Fig. 26). Die zu lötende Fuge wird metallisch rein geschabt und mit Lötwasser bestrichen, dann bringt man an dem inzwischen warm gemachten Kolben ein Stückchen Lot zum Schmelzen und trägt dieses mit dem Kolben auf die Fuge. Ist die Fuge groß und lang, so hält man auch wohl während des Lötens eine Stange Lot an den Kolben, so daß dieser davon so viel abschmilzt, wie in der Fuge verbraucht wird.

Lötwasser ist eine Lösung von Chlorzinkammonium: Man löse 32 Teile Zink in der dazu nötigen Menge Salzsäure und setze 22 Teile Salmiak hinzu; dann dampfe man es bis zur Kristallisation ein. An Stelle des Lötwassers kann man auch gepulvertes Kolophonium auf die Fuge streuen.

Kleine Gegenstände werden ohne Kolben direkt in der Flamme gelötet, vielfach genügt schon eine Weingeistflamme. Man bindet

beide Stücke mit ausgeglühtem dünnen Eisendraht zusammen (Kupferdrähte wickelt man auch direkt umeinander), betupft die Fuge mit einem Tropfen Lötwasser, legt ein Körnchen Lot darauf und erwärmt bis das Lot geschmolzen ist, dann entfernt man die verbundenen Stücke aus der Flamme und läßt erkalten.

Alle mit Lötwasser behandelten Stücke müssen nachher sorgfältig gereinigt werden; darauf ist ganz besonders bei elektrischen Leitungen zu achten. Kolophonium ist nicht schädlich.

Um Platinblech auf Stahl aufzulöten (Wagnerscher Hammer), verzinnt man diesen an der Stelle, wo das Platin sitzen soll, befestigt mit einer Drahtklemme oder sonstwie das Platin auf dem Lot, und erwärmt dann vorsichtig das ganze von unten, d. h. von der Seite des Stahles, bis gerade das Lot geschmolzen ist, aber ja nicht mehr, damit sich das Platin nicht legiert und auch schmilzt.

6. Das Glasblasen. Die bei physikalischen Arbeiten wohl am häufigsten nötig werdende Werkstattarbeit ist das Glasblasen, und während man für die übrigen Werkstattarbeiten selbst in kleinen Städten Hilfskräfte findet, gibt es Glasbläser fast nur in großen Städten und man ist deshalb hierin fast stets auf sich selbst angewiesen. Das Wichtigste beim Glasblasen ist die Geduld: Man lasse es sich nicht verdrießen, bei der ersten, selbst einfachen Bläserei bis zu einer Stunde und noch länger zu sitzen und immer mit neuer Geduld weiter zu arbeiten. Hat man die nötige Aufmerksamkeit auf die beim Blasen vorkommenden Schwierigkeiten verwendet, so daß man sie bei der zweiten Arbeit zu vermeiden versteht, so wird man diese natürlich schneller fertig bringen; aber Geduld muß stets dabei sein.

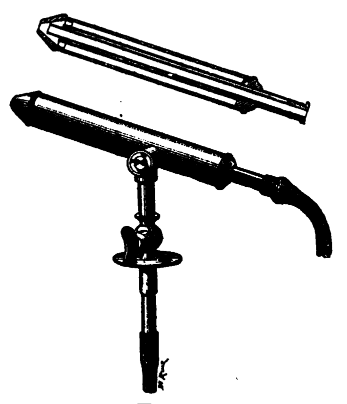


Fig. 27.

Das einzige, dafür aber um so ununterbrochener gebrauchte Werkzeug für die Glasbläserei ist der Gebläsetisch: ein Blasebalg mit Windlade unter dem Tisch, der Brenner auf dem Tisch. Der Brenner (Fig. 27) besteht aus zwei ineinander verschiebbaren konzentrischen Röhren, deren innere mit der Windlade kommuniziert, während dem Ringraum das Leuchtgas zugeführt wird. Für das innere Rohr hat man häufig verschiedene Spitzen.

Will man von einem Glasrohr ein Stück abschneiden, so schneidet man mit einem scharfen Messer oder einer scharf gefeilten Kante einer Dreikantfeile einen scharfen Schnitt in die Oberfläche des Glases — derselbe darf nicht mehlig sein —, dann faßt man das Rohr mit beiden Händen, so daß die dem Körper zugewendeten Daumen der Schnittstelle gegenüberliegen (Fig. 28) und versucht das Rohr

auseinanderzureißen, unter ganz schwachem Biegen desselben. Hat man ohne große Anstrengung keinen Erfolg, so war der Schnitt mit dem Messer nicht genügend und man muß denselben wiederholen. Gewalt darf bei Glas niemals angewendet werden.

Weite Rohre, Flaschen sprengt man, indem man einen umlaufenden Schnitt mit dem Glasmesser einschneidet und nun entweder mit einer ganz kleinen spitzen Gasflamme, welche aus der feinen Spitze eines Messingrohres hervorbrennt, herumfährt oder, nachdem man dicht neben dem Schnitt zwei gut angefeuchtete Streifen Filtrierpapier herumgelegt hat, das Rohr in der Gebläseflamme schnell umdrehend erwärmt oder einen glühenden Eisendraht schnell in den Schnitt legt oder einen Eisendraht in den Schnitt legt und ihn durch

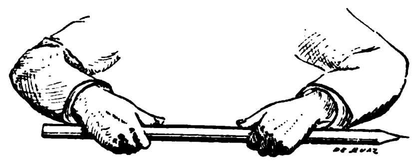


Fig. 28.

einen elektrischen Strom glühend macht. Springt das Rohr nicht schon beim Erwärmen, so tropft man kaltes Wasser auf den erhitzten Ring.

Jede Schnittfläche eines Rohres muß sofort angeschmolzen werden, d. h. es müssen die scharfen Ränder, welche leicht Verletzungen veranlassen, beseitigt werden. Man hält das Rohr zunächst vor die Flamme, ungefähr in ihrer Richtung, und nähert sich ihr dann langsam unter stetem Drehen des Rohres, damit das Rohr langsam und gleichmäßig warm wird. Ist der Rand weich geworden, was man am Fließen des Glases erkennt, so entfernt man das Rohr auf demselben Wege wieder aus der Flamme, um es langsam und gleichmäßig zu kühlen. Ist das Rohr kalt, so überzeuge man sich, daß der Rand schön glatt geworden ist und seine Schärfe vollständig verloren hat. Man schmelze nicht nur den Rand des zu benutzenden Glasstückes, sondern auch den desjenigen, welches man zum Vorrat zurückstellt, damit sich niemand verletze.

Das Biegen eines Rohres ist wohl die einzige Arbeit, welche gewöhnlich ohne Gebläseflamme ausgeführt wird. Man erwärmt unter fortwährendem Drehen das Rohr in einer breiten, nicht zu heißen Flamme, Schnittbrenner, Schwalbenschwanzbrenner, bis es sich sehr leicht biegen läßt. Dann nimmt man es aus der Flamme heraus und biegt es um den gewünschten Winkel; man achte darauf, daß die Seite des Rohres, welche man zuletzt aus der Flamme genommen hat, welche also die heißere ist, in die Innenseite der Biegung kommt. Hat sich die Außenseite etwas eingezogen, so bläst man, während man die andere Öffnung mit dem Finger oder einem Korken

verschließt, vorsichtig in das Rohr, bis sich der richtige Durchmesser wiederhergestellt hat. Hat das Glas die richtige Temperatur gehabt, so ist das Blasen nicht nötig.

Will man ein Glasrohr zuschmelzen, z. B. ein Reagenzglas herstellen, so schneidet man ein Stück Rohr etwas länger, als das Reagenzglas werden soll, erwärmt es schwach unter fortwährendem Drehen zuerst über, dann in der Flamme auf einer verhältnismäßig breiten Zone (Fig. 29); dann bringt man es in einer heißen spitzen Flamme auf einer schmalen Zone zum Erweichen und zieht außerhalb der



Fig. 29.

Flamme beide Stücke schnell auseinander. Man erhält so zwischen beiden Röhrenstücken ein langes dünnes Kapillarrohr (Fig. 30 *A*), welches man möglichst nahe dem weiter zu verarbeitenden Stück abbricht (Fig. 30 *B*). Je schmaler die erweichte Zone, um so schneller ist der Übergang vom weiten zum engen Rohr, um so bequemer das weitere Arbeiten. Man hält das Rohr mit dem Rest der Kapillaren von vorn in die Flamme; ist die Kapillare lang gewesen, so schmilzt sie zu einem Tropfen zusammen (Fig. 30 *C*). Diesen beseitigt man dadurch, daß man den Boden weich macht, außerhalb der Flamme schwach in das Rohr bläst und so den Boden etwas auftreibt, dann wieder in der Flamme weich macht und zusammenfallen läßt und wiederum außerhalb der Flamme aufbläst. Das setzt man fort, bis die im Tropfen angehäufte Glasmenge sich auf dem Boden gleichmäßig verteilt hat (Fig. 30 *D*). Bei allen diesen Arbeiten muß das Rohr fortwährend in gleicher Richtung gedreht werden. Ist der Tropfen zu groß, so macht man ihn weich, steckt ein schwach angewärmtes, dünnes Glasstäbchen, durch Ausziehen eines Glasstabes oder -rohres erhalten, in ihn hinein und zieht ihn so zu einem langen Stab aus, den man

in der Nähe des Bodens abbricht. Man kann den Rest des Stabes noch einmal in einer kleinen heißen Flamme ganz nahe am Boden weich machen und ausziehen; es bleibt dann nur eine ganz geringe Glasmenge haften, welche sich leicht verschmilzt.

Will man am Ende des Rohres eine Kugel haben, so häuft man in dem noch ungeteilten langen Glasrohr an der Stelle, welche die Kugel ergeben soll, Glas an, indem man dort das Rohr weich macht und dann von beiden Seiten her zusammenstaucht. Es darf sich dabei der innere Durchmesser des Rohres nicht ändern, widrigenfalls man ihn sofort wieder durch Erweichen auf seinen früheren Wert zusammenfallen lassen bezw. aufblasen muß. Dieses Zusammenstauchen wiederholt man mehrere Male dicht nebeneinander und erweicht jedesmal gut, so daß die ganze zusammengestauchte Glasmenge

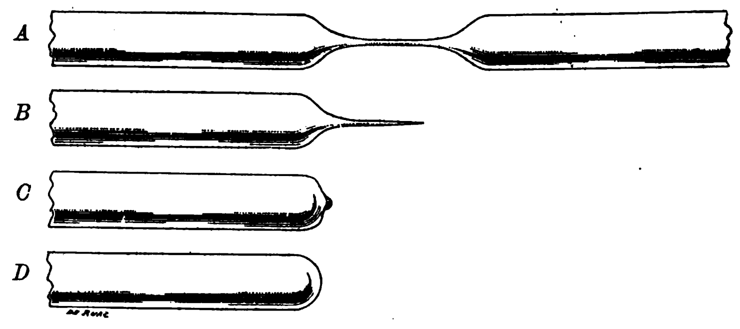


Fig. 30.

zu einer gleichmäßigen Verdickung der Wand zusammenfließt, ohne daß der innere oder der äußere Durchmesser wesentliche Änderungen erfahren hat. Auch die Achse des Rohres muß trotz des fortwährenden Drehens des Rohres eine einzige gerade Linie geblieben sein. Dann schmilzt man das Rohr recht nahe der verdickten Stelle, wie eben beschrieben (Fig. 30), ab, macht, bei großen Kugeln unter Verwendung von zwei Brennern mit entgegengerichteten Flammen, die ganze Glasmenge recht weich und bläst dann — selbstverständlich außerhalb der Flamme, wie überhaupt sämtliches Biegen, Blasen, Stauchen außerhalb der Flamme ausgeführt werden muß — unter fortwährendem Drehen erst schwach, dann, wenn die Kugel größer und das Glas kälter geworden ist, stärker, bis die Kugel die richtige Größe erlangt hat. Vorteilhaft ist es, die Kugel nicht mit einem Male fertig zu blasen, sondern erst eine kleine Kugel aufzutreiben, diese dann wieder in der Flamme zu erweichen und etwas zusammenfallen zu lassen und dann von neuem zu blasen; event. muß man diese Arbeit sogar mehrere Male wiederholen, damit man überall gleichmäßige Stärke der Wandungen erhält. Alle Operationen: Erweichen und Aufblasen nur unter fortwährendem Drehen. Beim Blasen, namentlich so lange das Glas noch weich ist, hält man das

Rohr nach unten. Man muß beim endgültigen Blasen sorgsam auf die Dicke der Wandung der entstehenden Kugel achten. Hat man nicht genug Glas zusammengestaucht, so muß man mit dem Aufblasen schon aufhören, ehe die Kugel die beabsichtigte Größe erreicht hat und nachher eine zweite blasen, für die man mehr Glas zusammenstaucht.

Um ein **T**-Stück herzustellen, wärmt man das den Kopf des **T** bildende Rohr in seiner Mitte zunächst ringsherum an, erweicht es an einer Stelle mit kleiner Stichflamme, bläst — selbstverständlich außerhalb der Flamme — eine kleine Warze (Fig. 31 *A*), erweicht deren Kuppe, bläst wieder schwach und so fort, bis man die Glasmenge der Warze wesentlich am Rand derselben angehäuft hat, so daß die Kuppe nur ganz dünnwandig ist. Dann bläst man stark, so daß man eine große nierenförmige Blase von ganz dünnem Glas erhält; meist zerplatzt sie, und die Hautstückchen fliegen in der Luft herum, die schönsten Newtonschen Farben zeigend. Durch leichtes Aufschlagen auf den Tisch bricht man die Niere entzwei und schmilzt den Rand der entstandenen Öffnung glatt (Fig. 31 *B*).

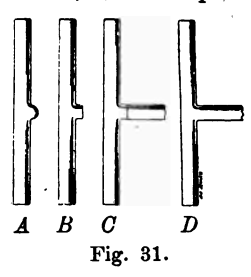


Fig. 31.

Man erweicht gleichzeitig die Ränder des erzeugten Loches und des zum Schaft bestimmten Rohres und drückt beide außerhalb der Flamme so aufeinander, daß sie einen vollständigen Schluß geben (Fig. 31 *C*). Um diesen zu erreichen, muß man beim ersten Blasen der Warze ihren Umfang gleich dem Umfang des anzusetzenden Rohres machen, indem man den passenden Querschnitt der Stichflamme auswählt. Die Zusammensetzstelle wird nun stückweise durch eine kleine Stichflamme zum Erweichen und Zusammenfallen gebracht und durch schwaches Blasen wieder aufgetrieben. Diese Arbeit setzt man auf dem ganzen Umfang herum fort, bis überall die früheren beiden Stücke zu einem einzigen Stück verschmolzen sind, so daß man nichts mehr von der Fuge erkennt (Fig. 31 *D*), namentlich muß die Wandung überall gleiche Stärke haben. Ist das gelungen, so kühlt man langsam, unter fortwährendem Drehen, indem man die Flamme zunächst leuchtend macht, d. h. die Luft abstellt und dann das Glasstück aus dieser langsam entfernt.

Man muß während der ganzen Arbeit stets dafür sorgen, daß die Zone des den Kopf bildenden Rohres, in welche der Schaft eingesetzt wird, auf ihrem ganzen Umfang warm bleibt, indem man von Zeit zu Zeit die Flamme groß macht und das Rohr einige Male in ihr herumdreht; dann darf man wieder an die eigentliche Arbeit gehen.

Trifft man das Zusammensetzen nicht gut, oder passen die beiden Ränder nicht aufeinander, so erhält man an der Schmelzfuge Löcher. Diese kann man flicken: Wenn sie klein sind, dadurch, daß man

einen weichen Tropfen Glas von einem dünnen Glasfaden draufsetzt. Befürchtet man, dadurch zu viel Glas an der betreffenden Stelle zu erhalten, oder ist das Loch so groß, daß man es nicht mit einem Tropfen verschließen kann, so macht man den Glasfaden nur schwach warm, setzt ihn auf den weich geschmolzenen dicken Rand des Loches und zerrt diesen dann bis zum gegenüberliegenden Rand herüber, so eine Teilung des großen Loches in zwei kleinere erzielend, welche entweder durch Erweichen und Zusammenfallen des Glases sich selbst schließen oder durch einen aufgesetzten Tropfen geschlossen werden. Derartige geflickte Stellen müssen natürlich durch mehrmaliges Erweichen und Aufblasen ganz besonders sorgfältig verschmolzen werden.

Es sei noch einmal daran erinnert, daß man beide Glasstücke in der Nähe der Stelle, wo sie erweicht werden, warm halten muß, aber nicht so warm, daß sie sich biegen.

Ähnlich wie beim Ansetzen des Schaftes des T-stückes verfährt man beim Zusammensetzen von zwei Röhren. Haben dieselben verschiedene Durchmesser, so verringert man den größeren, indem man ähnlich verfährt wie bei der durch Fig. 31 *A* dargestellten Arbeit, aber die beiden Stücke nur langsam auseinanderzieht und hiermit aufhört, wenn der Durchmesser klein genug geworden ist.

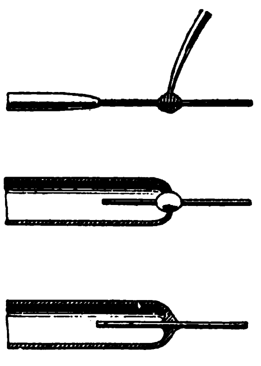


Fig. 32.

Einen Platindraht schmilzt man in ein Rohr ein, indem man zunächst um ihn einen Tropfen Einschmelzglas wickelt (Fig. 32), diesen in das vorher in das Rohr geblasene Loch einsetzt und durch wiederholtes Erweichen und Aufblasen Einschmelzglas und Glaswandung zum vollständigen Verschmelzen bringt. Das Kühlen muß sehr vorsichtig geschehen. In gewöhnliches Glas läßt sich Platin nicht einschmelzen.

Löcher bohrt man in Glas mit einem gut gehärteten Bohr, den man in Bohrrolle oder Drillbohr einspannt, oder mit einer zugespitzten Dreikantfeile, indem man gut mit Terpentinöl, dem etwas Kampher oder Petroleum zugesetzt ist, befeuchtet. Man kann auch jedes Loch im Glas mittels Reibahle und Terpentinöl erweitern.

Sehr häufig setzen sich die Glasstopfen in den Hälsen der Flaschen fest. Wenn dieser Übelstand nur durch Auskristallisieren von Salzen verursacht ist, so stellt man die Flasche einige Zeit verkehrt in ein Lösungsmittel des Salzes, bis die Kruste aufgelöst ist. Ist der Stöpsel zu tief eingedrungen, so muß man den Hals durch Erwärmen etwas ausdehnen, indem man ihn schnell in einer Bunsenflamme umdreht oder indem man eine herumgeschlungene Schnur mit Hilfe einer zweiten Person durch Hin- und Herziehen reibt. Von Zeit zu Zeit schlägt man mit einem Holzstück schwach gegen den Stopfen. Entsprechend behandelt man auch Glashähne, deren Küken festsitzen.

Verbindungen von Glas und Metall, z. B. das Aufkitten einer Messingfassung auf eine Glasröhre, kann man verschiedentlich herstellen.

Lot aus 100 Zinn und 3 bis 4 Zink läßt sich mit dem Lötkolben auf das heiße, aber noch nicht weiche Glas auftragen und sitzt fest auf ihm.

Sicherer geht man vor, wenn man das Glas zuerst platiniert, indem man das Glas mit Platinchlorid und Kamillenöl bestreicht, dann langsam erwärmt, bis das überschüssige Öl verdampft ist und dann in Rotglut das Platin reduziert, welches dabei fest in das Glas einbrennt. Diese metallische Fläche wird elektrolytisch durch einen Kupferniederschlag verdickt, auf welchen dann nach gewöhnlicher Methode gelötet werden kann.

Es genügt aber selbst bei großen Drucken meist schon der Marineleim; das ist eine Lösung von Kautschuk in Benzin, der unter Erwärmen Schellack zugesetzt ist. Marineleim ist wasserunlöslich.

Einfache Verbindungen, welche nicht lange zu halten haben, stellt man mit Siegellack oder noch einfacher mit Klebwachs her, das man durch Zusammenschmelzen von Kolophonium, Wachs und Talg erhält; je mehr vom ersteren, um so spröder ist das Klebwachs, während der letztere es weich macht.

II. Mechanik der festen Körper.

7. Messung von Dicken. Dazu dienen die Schublehre (Fig. 33) und das Mikrometer oder Palmermaß (Fig. 34). Eine einfache Schub-

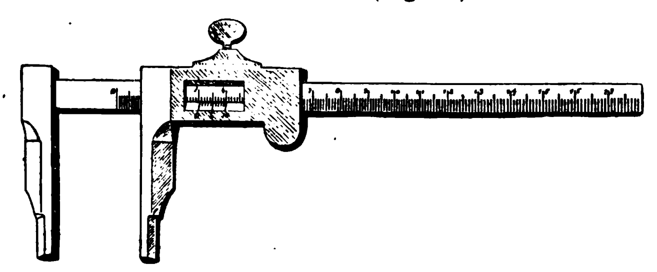


Fig. 33.

lehre stelle man aus einem dünnen Pappestreifen her, der, wie Fig. 35 zeigt, rechtwinklig eingeschnitten ist und eine mm-Teilung trägt; auf

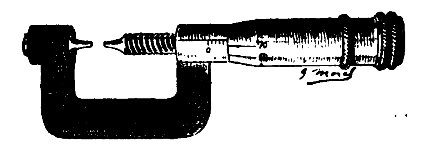


Fig. 34.

ihm gleitet der ausgeschnittene Streifen. Dieser trägt eine Marke, welche dem Beginn der Teilung gegenübersteht, wenn beide Stücke

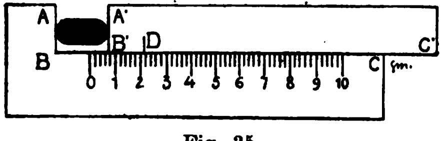


Fig. 35.

vollständig zusammengeschoben sind. Befindet sich zwischen den Streifen der zu messende Gegenstand, so gibt der der Marke gegenüberliegende Teilstrich dessen Dicke.

Zur Messung der Zehntelmillimeter benutzt man den Nonius (Fig 36). Die zehn Teile des verschiebbaren Nonius entsprechen neun Teilen des Hauptmaßstabes; jeder Teil des Nonius beträgt also $^9/_{10}$ von einem Teil des Hauptmaßstabes. Fällt z. B. der 3. Teil-

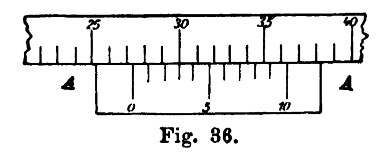


Fig. 36.

strich des Nonius mit irgendeinem Strich der Hauptteilung zusammen, so liegt der Nullpunkt des Nonius $^3/_{10}$ hinter dem die Ganzen angebenden Teilstrich des Hauptmaßstabes. Die zwischen dem Nullpunkt des Hauptmaßstabes und dem des Nonius gemessene Länge beträgt nach der Figur 27,3 mm.

Übungen: 1. Man messe die Dicke von Stanniol in einzelnen Blättern und in mehreren Lagen und vergleiche die Resultate. — 2. Man prüfe die Dicke einer Glasscheibe an verschiedenen Stellen. — 3. Man bestimme die Dicke eines Drahtes und vergleiche das Resultat mit der Messung der Länge von etwa hundert dicht nebeneinander auf einen Glaszylinder aufgewickelten Windungen.

8. Messung von Flächen. 1. Man zeichnet den Umriß der Fläche auf Koordinatenpapier mit mm-Einteilung und bestimmt die Zahl der eingeschlossenen Quadrate und die Bruchteile von solchen. — 2. Man schneidet aus Stanniol den Umriß der zu messenden Fläche und den eines Quadrates von bekannter Seitenlänge, wägt beide Blätter ab und berechnet aus dem Verhältnis der Gewichte den gesuchten Flächeninhalt. — 3. Man teilt die Fläche durch eine Anzahl in gleichen Abständen gezogener Parallelen und berechnet die ganze Fläche als Summe von Trapezen von gleicher Höhe.

Übungen: 1. Aus Flächeninhalt und Radius einer Anzahl verschiedener Kreise bestimme man die Größe π. — 2. Am rechtwinkligen Dreieck prüfe man durch Ausmessung der Flächen den pythagoräischen Lehrsatz nach.

9. Messung von Körperinhalten. 1. Den Inhalt eines Gefäßes bestimmt man durch Abwägen des in ihm enthaltenen Wassers. — 2. Bei Körpern, deren Inhalt sich aus Flächen und Längen berechnen läßt, mißt man diese in der früher angegebenen Weise. — 3. Den Inhalt unregelmäßig geformter Körper bestimmt man, indem man sie in einen mit Wasser gefüllten Maßzylinder legt und zusieht, um wieviel Kubikzentimeter das Wasser steigt.

Übungen: 1. Man prüfe die Graduierung eines Maßzylinders. — 2. Man berechne den Inhalt eines Glaswürfels. — 3. Denselben Inhalt bestimme man mit Hilfe des mit Wasser gefüllten Maßzylinders.

10. Parallelogramm der Kräfte. In beliebigen Punkten eines horizontal gelegten Zeichenbrettes (Fig. 37) und am Rande eines beliebig geformten Brettchens befestige man je drei Haken. Zwischen den Haken des Zeichenbrettes und denen des Brettchens spanne man mit Hilfe kleiner Aufhängefäden Spiralfedern von je hundert Windungen.

Um die Reibung des Brettchens möglichst zu vermeiden, lege man es auf drei kleine Kugeln. Hat das Brettchen seine reibungsfreie Lage eingenommen, sind somit die von den Spiralen ausgeübten

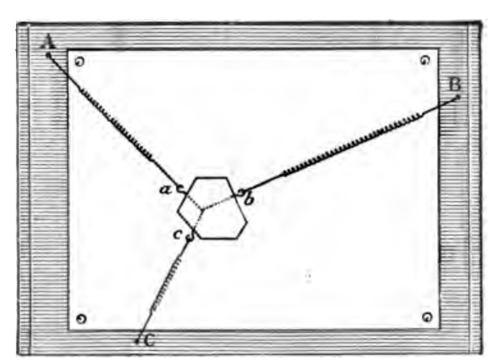


Fig. 37.

Kräfte im Gleichgewicht, so markiere man die Lage der Punkte a, b, c, entferne Spirale und Brettchen und verbinde A mit a, B mit b und C mit c.

Verlängert man diese Linien, so müssen sie sich in einem Punkte schneiden, dem Angriffspunkt der drei durch die Spiralen ausgeübten Kräfte.

Man trage von dem Schnittpunkte aus auf jeder Geraden eine Länge ab, proportional der Verlängerung der längs dieser Geraden gespannt gewesenen Feder, und prüfe, ob jede dieser Längen der Diagonale des aus den beiden anderen gebildeten Parallelogrammes gleich und ihr entgegengesetzt gerichtet ist.

11. Pendeldynamometer. An das Ende eines dünnen Drahtes hänge man ein Gewicht von $P = 5$ kg (Fig. 38); durch eine horizontal wirkende Spiralfeder ziehe man den Draht um einen Winkel α aus seiner Gleichgewichtslage. Damit das Gewicht der Feder nicht mitwirke, hänge man sie an einem in ihrer Mitte befestigten Faden auf. Man messe die Verlängerung der Spiralfeder, berechne hieraus mit Hilfe vorher stattgefundener Eichung (43) die Spannkraft Q und prüfe die Beziehung $Q = P \operatorname{tg} \alpha$.

12. Richtung einer Kraft. Auf dem in Nr. 10 benutzten Zeichenbrette befestige man an beliebigen Stellen Nägel, auf die man verschieden große Rollen stecken kann. Man stelle es vertikal,

hänge an einen der Haken eine Spiralfeder, an diese an einem langen Faden ein Gewicht und bestimme die durch das Gewicht hervorgerufene Verlängerung der Spirale. Dann führe man den Faden

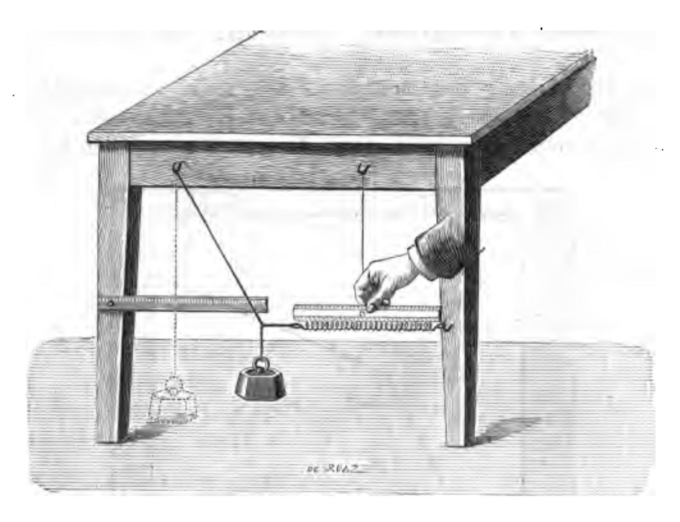


Fig. 38.

über eine der an einem beliebigen Nagel angebrachten Rollen, so daß die Spiralfeder aus der vertikalen Richtung abgelenkt wird. Welche Änderung der Größe der die Feder spannenden, durch deren Verlängerung zu messenden Kraft wird durch die Änderung der Richtung bedingt?

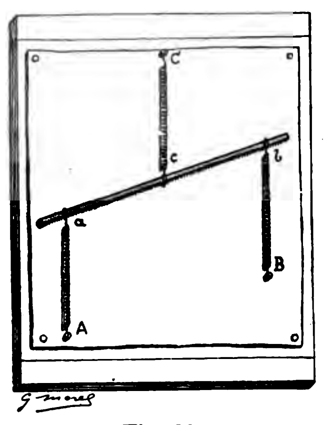


Fig. 39.

13. Parallele Kräfte. In drei Punkten eines Zeichenbrettes (Fig. 39) befestige man geeichte Spiralfedern; ihre Enden verbinde man durch Fäden so mit einem Kantel, daß die Fadenschlingen auf dem Kantel gleiten können. Die beiden äußeren Fäden lasse man so weit gleiten, daß die zugehörigen Spiralfedern dem Brettrand parallel laufen. In welche Richtung stellt sich dadurch von selbst die dritte Spiralfeder, und wie ist dieses Resultat in Übereinstimmung zu bringen mit dem vorhin (10) gefundenen, daß sich drei im Gleichgewicht befindliche Kräfte in einem Punkt schneiden.

Man bestimme aus den Verlängerungen der Spiralfedern ihre Zugkräfte und untersuche, ob die Zugkraft der mittleren Spiralfeder gleich der Summe der beiden andern (gleichgerichteten) Kräfte, also auch die Zugkraft jeder der äußeren Spiralfedern gleich der Differenz der beiden andern (entgegengesetzt gerichteten) Kräfte ist.

Man messe die Entfernungen der drei Angriffspunkte der Kräfte und weise nach, daß die Verbindungslinie je zweier Angriffspunkte durch den dritten im umgekehrten Verhältnis der beiden ersten Kräfte innerlich oder äußerlich geteilt wird, je nachdem diese beiden Kräfte gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind.

14. Summe der statischen Momente. Von dem in der vorigen Nummer benutzten Zeichenbrette entferne man die beiden äußeren Spiralfedern. An dem Kantel bringe man in gleichen Abständen Stifte an, auf welche man kleine, rechteckige, durchlochte Bleiplatten von gleichem Gewicht als Belastungen aufstecken kann. Man messe die Entfernung der Mitte jeder Platte vom Drehpunkt des Hebels, d. h. dem Befestigungspunkt der Feder und bestimme das Gewicht jeder Platte, d. h. die Kraft, mit welcher sie von der Erde angezogen wird. Indem man das Produkt aus Kraft in die senkrechte Entfernung ihrer Richtung vom Drehpunkt als das statische Moment der Kraft bezeichnet, stelle man für verschiedenartige Belastungen des im Gleichgewicht befindlichen, d. h. horizontalen Hebels die Gesamtsumme der statischen Momente fest. Entfernungen auf der einen Seite vom Drehpunkte werden hierbei als positiv, auf der andern als negativ bezeichnet.

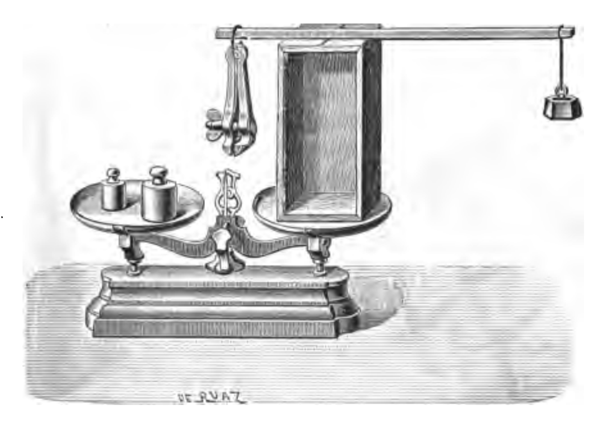


Fig. 40.

15. Parallele Kräfte. Auf die eine Wagschale einer Tafelwage (Fig. 40) stelle man ein Holzkästchen, auf dieses lege man eine Stricknadel und hierüber einen Kantel. Nachdem man die Wage ins Gleichgewicht gebracht hat, hänge man an den Kantel einen

kleinen Feilkloben und ein Gewichtsstück, deren Gewichte man vorher bestimmt hatte und bringe zunächst den Kantel durch Verschieben auf der Stricknadel und dann die Wage wieder ins Gleichgewicht. Wie groß ist die Summe der statischen Momente und die durch die Belastung der Wage gemessene Resultante der am Kantel wirkenden Kräfte?

Man lege die Enden einer Eisenstange auf je eine Schale zweier gleichhohen Tafelwagen und stelle das Gleichgewicht wieder her. Wie hat sich das Gewicht der Stange auf beide Wagen verteilt?

Man hänge an die Stange an beliebiger Stelle ein Gewichtsstück und bringe die Wagen ins Gleichgewicht. In welcher Beziehung stehen die hierzu erforderlichen Belastungen zu den vom Aufhängepunkte des angehängten Stückes gerechneten Teillängen der Eisenstange und zum aufgehängten Gewichte?

16. Schwerpunkt. Man verfertige aus Pappe oder Blech ein Dreieck und bestimme den Schwerpunkt, indem man das Dreieck an Fäden aufhängt, die in beliebigen Punkten des Umfanges befestigt sind, und die Richtung dieser Schwerlinien bis zum Schnittpunkt verlängert. Man stelle fest, daß dieser Punkt mit dem Schnittpunkte zweier Seitenhalbierenden zusammenfällt, und daß das Dreieck, durch eine Stricknadel im Schwerpunkt unterstützt, indifferentes Gleichgewicht besitzt.

Entsprechend suche man auf beiderlei Art den Schwerpunkt von Parallelogrammen, Vielecken usw.

17. Labiles und stabiles Gleichgewicht. Man suche den Schwerpunkt eines Schemels (Fig. 41), indem man diesen zunächst



Fig. 41.



Fig. 42.

in der Mitte eines Beines aufhängt und den Punkt markiert, in welchem ein durch den Aufhängepunkt gehendes Lot das gegenüberstehende Bein trifft. Zwischen beide Punkte spanne man einen Faden. Dann hänge man den Schemel an einem beliebigen andern Punkte auf und markiere die Stelle, in welcher ein durch diesen Aufhänge-

punkt gehendes Lot den Faden trifft. Hängt man dann den Schemel irgendwie auf, so geht jedesmal das Lot vom Aufhängepunkte durch den auf dem Faden markierten Punkt. Es ist also der Schwerpunkt.

Man versuche den Schemel auf einem Bein oder auf zweien balanzieren zu lassen und bestimme die Lage eines vom Schwerpunkte herunterhängenden Lotes in bezug auf den einen Unterstützungspunkt des Schemels bezw. auf die durch beide gehende Gerade.

Eine Münze bringe man auf der Spitze einer Nadel ins stabile Gleichgewicht, indem man auf die Münze einen Kork legt und an diesem zwei Gabeln befestigt (Fig. 42).

An eine Halbkugel aus Blei kitte man mit Siegellack einen Kork- oder Holundermarkzylinder von gleichem Durchmesser. Legt man ihn lang auf den Tisch, so richtet er sich auf (Stehauf). Man zeige an einer Zeichnung, daß der Grund hierfür darin liegt, daß der Schwerpunkt die tiefste Lage einzunehmen bestrebt ist.

---

18. Wage ohne Wagschalen. Als Wagebalken diene ein mit Maßstab versehenes Lineal (Fig. 43), als Schneide eine am Lineal

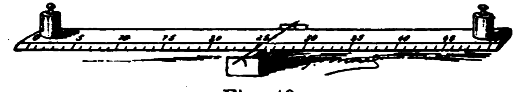


Fig. 43.

mit Siegellack befestigte Stricknadel; die Stricknadel lasse man auf den Rändern eines an beiden Enden rechtwinklig gebogenen Blechstückes ruhen.

19. Wage. Den Wagebalken stelle man aus einem Kantel aus hartem Holze her (Fig. 44). Als Schneiden dienen drei Stricknadeln, die quer durch den Kantel geführt sind. Als Lager für die Achse nehme man Stücke eines Kantels aus hartem Holze. Die Wagschalen stelle man aus Blechtellern her, welche man am Rande zur Befestigung der Aufhängefäden durchbohrt. Die Haken, welche die Fäden mit den Schneiden verbinden, biege man aus dünnem Stahldrahte. Um die Bewegung des Wagebalkens verfolgen zu können, lege man diesem parallel einen andern Kantel, an dessen beiden Enden man ein Stückchen eines mit mm-Teilung versehenen Lineals befestigt; auf diese Teilungen zeigen die beiden äußeren der als Schneiden dienenden Nadeln.



Fig. 44.

Empfindlichkeit. Nachdem man die Wage bei etwaiger Verschiedenheit der Wagschalen mit Hilfe eines kleinen Übergewichtes ins Gleichgewicht gebracht hat, belaste man beide Wagschalen gleichmäßig mehr und mehr und bestimme, ein wie großes Übergewicht erforderlich ist, um bei zunehmender Gesamtbelastung jedesmal dieselbe Abweichung des Wagebalkens zu erhalten. Wie ändert sich bei zunehmender Gesamtbelastung die Empfindlichkeit?

Parallelismus der Schneiden. Nachdem man das Gleichgewicht für eine nicht zu geringe Belastung hergestellt hat, verschiebe man den Haken der einen Wagschale ziemlich weit längs der als Schneide dienenden Stricknadel, so daß der die Fäden tragende Haken nicht mehr unter dem Kantel hängt. Bedarf es zur Herstellung des Gleichgewichtes der Wage eines Übergewichtes, so ist damit bewiesen, daß die untersuchte Schneide nicht der den Kantel tragenden Nadel parallel ist. Man untersuche ebenso die als Schneide für die andere Schale dienende Nadel.

Verhältnis der Hebelarme. Sind die Hebelarme l und r und wird ein Körper vom Gewicht G auf der einen (rechten) Schale durch ein Gewicht G_1 auf der anderen (linken) Schale im Gleichgewicht gehalten, nach der Vertauschung auf den Schalen aber nicht, so sind die Hebelarme verschieden. Indem man durch eine Mehrbelastung um g auf der rechten Seite, welche also jetzt $G_1 + g$ trägt, das Gleichgewicht wiederherstellt, suche man unter Benutzung des Momentensatzes (14) ihr Verhältnis. Mit Hilfe dieses Verhältnisses bestimme man das Gewicht G, indem man die Wage als ungleicharmigen Hebel ansieht.

Dämpfung. Unter die eine Wagschale stelle man eine Weißblechdose, so daß erstere bei den Schwingungen des Wagebalkens gerade ohne anzustoßen in der Dose sich bewegt. Man prüfe, ob die Wage schneller zur Ruhe kommt und ob sich die Empfindlichkeit geändert hat.

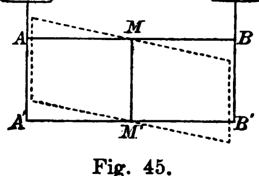


Fig. 45.

20. Die Tafelwage oder Robervalsche Wage (Fig. 45) besteht aus zwei parallelen gleicharmigen Hebeln AB und $A'B'$, welche um die Achsen M und M' drehbar sind. Die Stäbe AA' und BB' bleiben als Gegenseiten eines verschiebbaren Parallelogrammes stets vertikal; die Wagschalen bleiben also immer horizontal.

Man fertige ein solches Modell an, mit besonders großen Brettchen als Wagschalen, und zeige, daß die Gewichtsstücke an beliebigen Stellen der Wagschalen liegen können, ohne die Richtigkeit der Wage zu ändern.

21. Der freie Fall. Ein etwa 25 cm langes Brett befestige man mit Hilfe von zwei Ringnägeln (Fig. 46) an einem horizontal gestellten Metallstab. An einem nahe dem unteren Rande befindlichen Haken bringe man einen eine kleine Bleikugel tragenden Faden an, den man so über zwei rechtwinklig gebogene Stäbe führt, daß die Kugel in der Verlängerung der Brettfläche hängt, wenn das Brett in seiner Gleichgewichtslage ist, und einige Zentimeter über der Mitte der oberen Kante steht, wenn das Brett durch das Gewicht der Kugel außerhalb der Gleichgewichtslage gehalten wird.

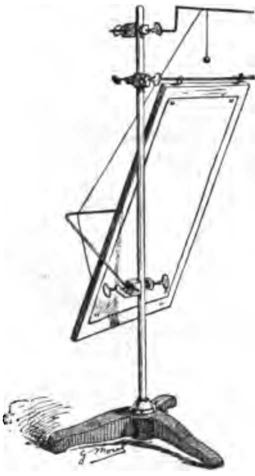


Fig. 46.

Man bestimme die Höhe der Kugel über der Tischfläche. Dann brenne man den Faden durch. Die fallende Kugel trifft das pendelnde Brett. Man bestimme die Höhe des Treffpunktes über der Tischfläche. Die Differenz beider Höhen gibt die Fallhöhe der Kugel. Aus einer größeren Zahl von Schwingungen suche man die Fallzeit der Kugel.

Man wiederhole den Versuch mit einem Brette von doppelter Länge und beweise aus beiden Versuchen, daß die Fallräume sich verhalten wie die Quadrate der Fallzeiten.

In jedem der Versuche berechne man g aus der Formel $s = {}^1/_2\, g\, t^2$ und nehme aus beiden Werten das Mittel.

22. Atwoodsche Fallmaschine. Die Achse (Stricknadel) einer leichten Rolle lasse man, wie Fig. 47 zeigt, auf zwei vorstehenden Holzleisten ruhen. Als Aufschlagbrett nehme man eine Zinkplatte, deren rechtwinklig umgebogenes Ende mit Hilfe kleiner Klemmen festgehalten wird. Zum Abheben des Übergewichts, eines Holzstückchens, benutze man einen zweimal rechtwinklig umgebogenen Draht (Fig. 48), der so von hinten um die senkrecht am Tisch befestigte, etwa 1,50 m lange, mit Maßstab versehene Holzleiste gedrückt wird, daß die freien Enden nach vorn zeigen.

Die Bewegung des mit dem Übergewicht belasteten Gewichtes läßt man dadurch beginnen, daß man ein mit der Hand unter das Gewicht gehaltenes Lineal auf den Schlag eines Metronoms schnell nach unten wegzieht. In Ermangelung eines Metronoms stelle man sich einen einfachen Zeitmesser her, wie ihn Fig. 49 zeigt. An den Pendelfäden hängt ein Gewichtsstück von 2 kg, unter welchem an einem kurzen Faden mit Siegellack ein kleines Gewicht von wenigen Gramm befestigt ist. Dies Gewicht stößt beim Durchgang durch die Gleichgewichtslage gegen einen Nagel oder eine Glocke.

Übungen: 1. Man stelle fest, wo man das Aufschlagbrett anzubringen hat, damit das Gewicht nach ein, zwei, drei usw. Takten des Zeitmessers aufstößt, messe die Fallhöhen und prüfe, ob sie sich

wie die Quadrate der Fallzeiten verhalten. — 2. An den durch den vorigen Versuch bestimmten Stellen bringe man vorstehende Papierstreifen an und beobachte, wie sie auf den Schlag des Zeitmessers

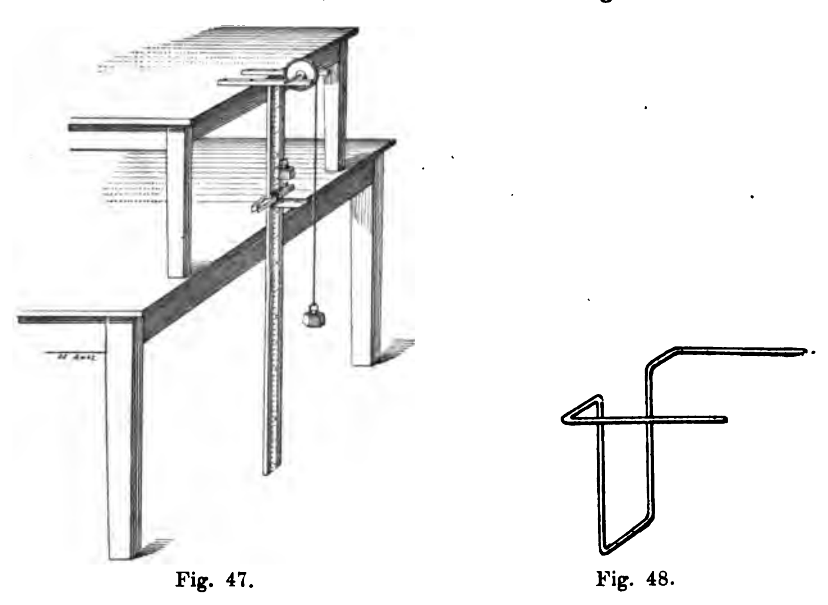


Fig. 47. Fig. 48.

der Reihe nach niedergedrückt werden. — 3. Man lasse das Übergewicht nach ein oder zwei usw. Schlägen des Metronoms abheben

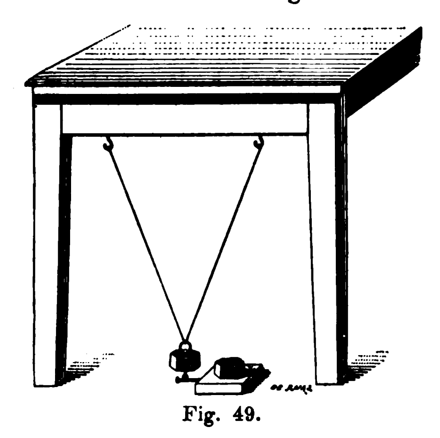


Fig. 49.

und untersuche, ob die Bewegung gleichförmig geworden ist, ob also zwischen weiteren zwei Schlägen jedesmal gleiche Wege durchlaufen werden. — 4. Auf eine der bewegten Massen (200 gr) lege man ein Übergewicht $(30 + m)$, auf die andere $(30 - m)$ Gramm, ändere

in mehreren Versuchen den Wert von m, bestimme jedesmal die Beschleunigung a nach der in der ersten Übung bestätigten Formel $s = \frac{1}{2} a t^2$ und untersuche graphisch die Abhängigkeit der Beschleunigung vom Übergewicht $2m$. Für einen der Versuche berechne man die Beschleunigung auch aus der allgemeinen Beziehung: Kraft ($2m \cdot g$) gleich Masse (460) mal Beschleunigung (a) also $a = \frac{2m \cdot g}{460}$, wo $g = 980$ cm/sec^2 die oben (21) beobachtete Beschleunigung des freien Falles ist.

Der berechnete Wert ist größer als der beobachtete, da die Reibung und die Trägheit der Rolle in der Rechnung nicht berücksichtigt sind.

23. Fall auf der schiefen Ebene. Als schiefe Ebene benutze man ein mit einer wenige Millimeter breiten Rinne versehenes Brett (Fig. 50).

Für einen bestimmten Neigungswinkel bestimme man die Stelle, von welcher aus die Kugel den Lauf beginnen muß, um nach ein

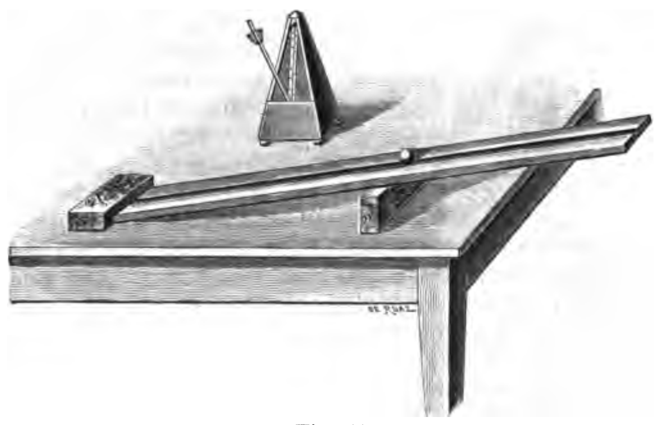


Fig. 50.

oder zwei usw. Zeitintervallen aufzuschlagen. Man messe die Fallräume und prüfe, ob sie sich wie die Quadrate der Fallzeiten verhalten.

Man bestimme die Beschleunigung a für verschiedene Neigungswinkel α und prüfe die Beziehung $a = g \cdot \sin \alpha$, worin g die Beschleunigung des freien Falls ist.

24. Die Poggendorffsche Wage. Gewicht und Masse. Man verbinde die Mitten und die Enden zweier Kantel durch drei gleichweit voneinander entfernte Stricknadeln, so daß man gewissermaßen einen doppelten Wagebalken erhält, welcher auf den nach außen stehenden, von einem Drahtbügel getragenen Enden der mittleren Stricknadel als Schneide ruht (Fig. 51). Die mittlere und die eine

äußere Stricknadel lasse man zugleich als Achsen zweier Rollen dienen, über welche man einen Faden legt, der an beiden Enden je eine Wagschale trägt. In der Mitte der zweiten äußeren Stricknadel hänge man gleichfalls eine Wagschale auf. Das Gewicht dieser Schale nehme man so, daß Gleichgewicht vorhanden ist, wenn man den über beide Rollen laufenden Faden festklemmt; eventuell stelle man Gleichgewicht durch kleine Gewichtsstücke her. Den Faden nehme man hinreichend lang.

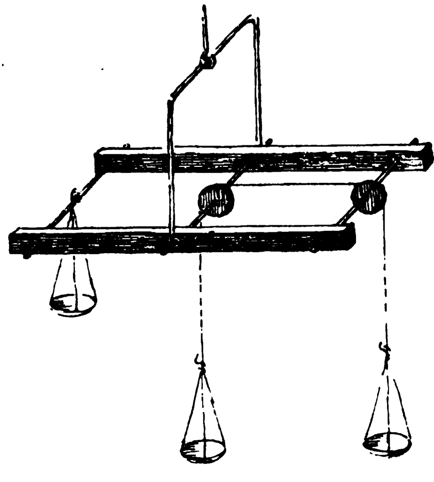


Fig. 51.

1. Man lege bei festgeklemmtem Faden auf die an ihm hängenden Schalen gleich große Gewichte. Welches Gewicht hat auf die Einstellung der Wage gar keinen Einfluß? Ein wie großes Gewicht muß demnach in die unmittelbar an der Wage hängende Schale gelegt werden, damit die Wage im Gleichgewicht bleibt? Wie ändert sich das Gleichgewicht, wenn der Faden gelöst wird?

2. Nachdem man alle drei Schalen gleich belastet und den Faden festgeklemmt hat, lege man in die mittlere Schale ein kleines Übergewicht. Wird dadurch das Gleichgewicht des Balkens geändert? Dann löse man den Faden. Auf welche der beiden äußeren Schalen muß man ein Gewicht zulegen, damit der Balken trotz der Bewegung des Fadens sein Gleichgewicht wieder erhält, und wie groß muß dieses sein?

3. Nachdem man wieder alle drei Schalen gleich belastet hat, lege man bei festgeklemmtem Faden auf diejenige Schale, welche an dem über die äußere Rolle gehenden Faden hängt, ein kleines Übergewicht. Nachdem man das dadurch gestörte Gleichgewicht des Balkens durch entsprechende Belastung der anderen äußeren Schale wieder hergestellt hat, löse man den Faden. Wie wird dadurch das Gleichgewicht gestört und wie muß man die Belastung der unmittelbar am Balken sitzenden Schale ändern, damit auch während der Bewegung das Gleichgewicht des Balkens erhalten bleibt?

Will man sich von diesen für den ersten Augenblick überraschenden Erscheinungen Rechenschaft geben, so bedenke man, daß die Wage nicht die auf den Schalen ruhenden Massen, sondern deren Gewichte, d. h. Kräfte, vergleicht. Da hier die Massen aber nicht ruhen, sondern beschleunigte Bewegungen, Fallbewegungen ausführen, so wird die nach dem Satz: Kraft gleich Masse mal Beschleunigung (22) das Gewicht bedingende Erdbeschleunigung g hier um die Fall-

maschinenbeschleunigung a scheinbar vermindert oder vermehrt, je nachdem die Bewegung nach unten oder nach oben stattfindet. Es ist also das am Balken auftretende scheinbare Gewicht nicht mehr $M \cdot g$, sondern $M(g - a)$ bezw. $M(g + a)$ wenn M die in der Schale befindliche Masse ist. An der unmittelbar am Balken hängenden Schale bleibt aber stets die Gravitationsbeschleunigung vollständig wirksam, es muß deshalb die an der anderen äußeren Schale stattfindende scheinbare Gewichtsänderung durch eine Änderung der Masse auf dieser Seite ausgeglichen werden: $(M + m)g$.

Man berechne nach den bei der Atwoodschen Fallmaschine gefundenen Sätzen die Beschleunigung a und daraus die Masse m, um welche die Belastung der festen Schale geändert werden muß.

25. Graphische Untersuchung von Bewegungen. Man befestige auf dem Tisch ein Lineal, an welchem entlang sich eine Glastafel auf dem Tische bewegen kann (Fig. 52). Am Rande der Glastafel

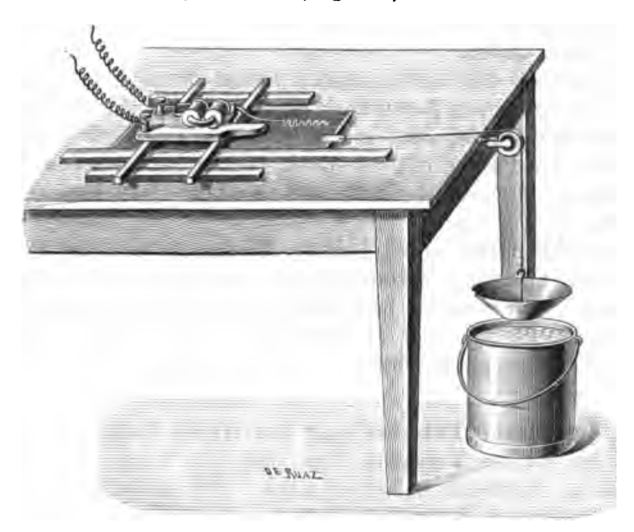


Fig. 52.

bringe man mittelst Siegellack ein flaches Holzstückchen und an diesem den Faden an, der, über eine am Tischrande befestigte Rolle geführt, das bewegende Gewicht trägt.

Von einer elektrischen Klingel entferne man Glocke und Klöppel; das Brett schneide man so weit aus, daß der Draht, welcher den Klöppel trug, nach unten umgebogen werden kann, so daß ein an seinem Ende durch ein Stückchen Klebewachs oder Kautschukschlauch befestigter Griffel aus Celluloid oder Stahl die über einer rauchenden Petroleum- oder Terpentinölflamme berußte Glasplatte berührt und auf ihr die Schwingungen der Klingel aufschreibt.

Unter dem Klingelbrett befestige man zwei Kantel, welche über zwei auf den Tisch genagelten Holzleisten senkrecht zur Bewegungsrichtung der Tafel verschoben werden können, so daß die vom Schreibstifte bei verschiedenen Versuchen gemachten Aufzeichnungen nebeneinander liegen. Um die Verschiebungsrichtung der Klingel zu sichern, kann man in jede der Holzleisten noch einen Nagel mit Ringkopf einschlagen.

Man lasse die Bewegung der Tafel durch ein an ihrem Faden angehängtes Gewicht hervorrufen, welches man einmal in Luft, dann in Wasser, dann teils in Luft, teils in Wasser fallen läßt.

Dann biege man aus Zinkblech den Mantel eines Kegelstumpfes, löte quer über die offenen Kreisflächen Stäbe und befestige an diesen einen in der Achse des Kegels liegenden Stab, dessen oberes Ende man zu einem Haken umbiegt. Man hänge den Kegelstumpf mittels dieses Hakens an den Faden der Glasplatte und lasse ihn dann ebenfalls einmal in Luft, dann in Wasser und dann teils in Luft, teils in Wasser fallen.

Man fixiere die Zeichnungen, indem man über die fertigen Zeichnungen mit einem Zerstäuber eine stark mit Alkohol verdünnte Schellacklösung stäubt, oder indem man die Tafel bezw. ein auf der Tafel befestigtes Papier mit Schellack bestreicht, nach dem Trocknen berußt, dann beschreiben läßt und nachher mit reinem Alkohol überstäubt.

Man ziehe mitten durch jede der Zeichnungen in der Bewegungsrichtung der Glastafel gerade Linien und untersuche durch Ausmessen der Entfernungen benachbarter, vom Stifte aufgezeichneter Schwingungen die Art der Bewegung, ob gleichförmig beschleunigt oder ungleichförmig beschleunigt oder ob mit konstanter Geschwindigkeit.

26. Graphische Untersuchung des freien Falles. Bei der Anordnung der letzten Versuche lege man den Tisch so um, daß die Tafel nahezu senkrecht frei fallen kann. Für diesen Versuch nähere man den Anker dem Elektromagneten, um möglichst schnelle Schwingungen zu erhalten.

27. Zusammensetzung von Bewegungen. Auf einem nur wenig geneigten Brette befestige man ein Blatt Papier. Über dieses stoße man eine mit Tinte überzogene Kugel so, daß sie eine auf- und absteigende Kurve beschreibt. Dann lasse man die Kugel, um die Richtung der größten Neigung des Brettes festzustellen, frei herunterlaufen und lege eine zu der so erhaltenen Geraden senkrechte, also horizontale Tangente an die Kurve. Durch den Berührungspunkt ziehe man wieder eine Gerade der größten Neigung, welche man zur Abszissenachse wählt.

Man suche das Verhältnis der Quadrate der Ordinaten zu den zugehörigen, vom Berührungspunkt der horizontalen Tangente gezählten Abszissen.

Man mache die Hypothese, daß sich Bewegungen wie Kräfte zusammensetzen (10). Die Bewegung der Kugel besteht dann, vom höchsten Punkt der Kurve aus betrachtet, aus einer horizontalen Bewegung mit der Geschwindigkeit c, so daß $y = c\,t$, und einer Fallbewegung längs der schiefen Ebene, für welche nach den früher (21; 23) gefundenen Resultaten gilt: $x = \frac{a}{2}\,t^2$.

Man eliminiere aus beiden Gleichungen die Zeit t und prüfe, ob die so gefundene Beziehung, daß das Quadrat der Ordinate proportional der Abszisse ist, mit der Beobachtung übereinstimmt, d. h., ob die Hypothese den Tatsachen entspricht, also berechtigt ist.

Man stelle die Symmetrie des auf- und des absteigenden Astes der Kurve fest. Welchen Schluß kann man daraus auf die resultierende Geschwindigkeit der auf- und der absteigenden Kugel in entsprechenden Punkten der Bahnkurve ziehen?

Statt die Kugel mit Tinte zu überziehen, kann man auch das Papier berußen und von der Kugel auf ihrem Weg den Ruß wegnehmen lassen. Für die Untersuchung wird dann die Aufzeichnung fixiert (25).

28. Vertikaler und horizontaler Wurf. Man lege ein Lineal so über eine Ecke des Tisches, daß sein Ende einige Zentimeter vorsteht (Fig. 53). Auf dieses Ende des Lineals lege man eine Bleikugel und eine andere auf die freigelassene Ecke des Tisches dicht vor dem Lineal. Dann stoße man durch eine heftige, plötzliche Verschiebung des Lineals die vor ihm liegende Kugel vom Tisch, die auf ihm liegende wird dann von selbst herunterfallen. Trotzdem die gestoßene Kugel eine Parabel, die andere eine senkrechte Gerade beschreibt, sollen beide zu gleicher Zeit auf dem Boden aufschlagen.

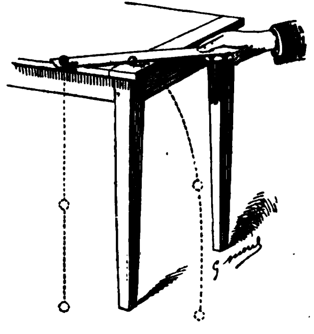


Fig. 53.

Man leite das Resultat auch aus den soeben festgestellten Gesetzen über die Zusammensetzung der Bewegung ab.

---

29. Das mathematische Pendel. Ein rechtwinklig gebogenes Metallstück schraube man an ein mit Maßstab versehenes, senkrecht gestelltes Lineal (Fig. 54).

Durch ein nahe dem vorderen Rande des vorstehenden Metallstückes befindliches Loch ziehe man den eine Bleikugel tragenden Faden; das Ende befestige man mit Wachs oder Siegellack. Ein zweites Loch gestattet, ein zweites Pendel anzubringen. Um verkürzte Pendel schwingen zu lassen, genügt es, den Faden einfach um das Metallstück herumzulegen. Als Zeitmesser benutzt man am besten

eine Uhr mit Sekundenzeiger, weil man nicht gleichzeitig Pendelschwingungen und Metronomschläge zählen kann. Sehr bequem sind Uhren mit Arretierung des Sekundenzeigers, wie sie bei Wettrennen gebraucht werden.

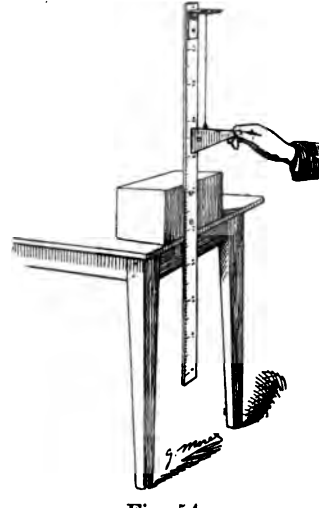


Fig. 54.

Man lasse das Pendel mit verschiedenen Amplituden schwingen und untersuche für kleine Ausschlagswinkel, ob die Zahl der Schwingungen in einem bestimmten Zeitintervall dieselbe bleibt.

Man vergleiche mit der Schwingungsdauer eines 1 m langen Pendels, an dessen Ende eine Bleikugel befestigt ist, die Schwingungsdauern einer Anzahl ebenso langer Pendel, welche verschiedene Massen aus verschiedenen Stoffen tragen, und untersuche die Abhängigkeit der Schwingungsdauer von der Masse und dem Stoff des schwingenden Körpers.

Man lasse nacheinander Pendel von verschiedener Länge schwingen, messe für jedes Pendel Länge und Schwingungsdauer eines Hin- oder Herganges und prüfe das Verhältnis der Quadrate der Schwingungsdauern zu den Längen der Pendel.

Bei diesen Versuchen lasse man jedes Pendel ziemlich lange schwingen, um einen möglichst genauen Wert für die Schwingungsdauer zu erhalten.

Man berechne für diese Versuche nach der Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ die Fallbeschleunigung g und nehme aus den Resultaten das Mittel.

30. Fall- und Steighöhe. Man lasse ein Pendel, dessen Kugel in der Ruhelage auf etwa ein Zehntel der Pendellänge unterhalb der

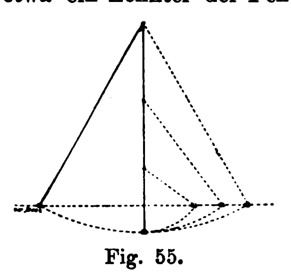


Fig. 55.

Tischfläche hängt (Fig. 55), aus der Höhe der letzteren ohne Anfangsgeschwindigkeit herabschwingen und hemme durch einen in verschiedenen Höhen rechtwinklig zur Ruhelage des Fadens stehenden Anschlag die Bewegung. Bis zu welcher Höhe schwingt die Kugel weiter (27)?

31. Graphische Untersuchung von Pendelschwingungen. Ein Brett lasse man, wie Fig. 56 zeigt, als Pendel schwingen. Die Achse, ein zylinderförmiger Eisenstab, ruhe auf zwei Stricknadeln. Den Schreibgriffel schneide man aus Stahlblech, dessen am Brett befestigtes Ende enthärtet ist; die Befestigungspunkte müssen genau in der durch die Achsenrichtung bestimmten Vertikalebene des in Ruhe hängenden Brettes liegen. Die übrige Anordnung ist dieselbe wie für die früher angegebene graphische Untersuchung von Bewegungen (25).

Übungen: 1. Man lasse das Pendel schwingen, nachdem man die ein wenig umgebogene Spitze des elastischen Griffels so gestellt hat, daß sie die Tafel gerade noch berührt, um die auf diese Weise

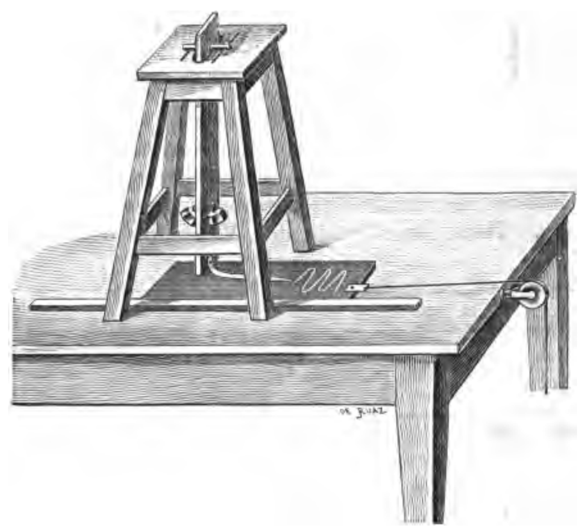


Fig. 56.

fast gar nicht gedämpften Schwingungen auf der in Bewegung befindlichen Tafel verzeichnen zu können. — 2. Man wiederhole den Versuch bei stärkerem Druck des Griffels. — 3. Man stelle den Griffel wie im ersten Versuch. Hinter dem Brett befestige man an einem Metallstab eine Metallplatte rechtwinklig zum Brett. Diese Platte lasse man während der Schwingungen sich in Öl bewegen.

An den nach der oben beschriebenen Methode fixierten Zeichnungen erkennt man aus der Abnahme der Amplituden den Einfluß der Dämpfung.

32. Methode der Koinzidenzen. Man verfertige zwei solche Pendel, wie für die letzten Versuche angegeben. Längs des oberen Randes der Bretter befestige man durch Klemmen einen Draht, so daß seine rechtwinklig umgebogenen Enden in zwei mit Quecksilber gefüllte Näpfchen tauchen können (Fig. 57). Aus zwei anderen Näpfchen und einem blanken Kupferdraht stelle man einen Unter-

brecher her. Diesen Unterbrecher, ferner Taster und Empfänger eines Morse-Telegraphen bringe man, wie Fig. 58 zeigt, in denselben Stromkreis. Das eine Pendel setze man in Nebenschluß mit dem Unterbrecher, das andere mit dem Taster.



Fig. 57.

Man lege die Brücke des Unterbrechers ein, lasse das zugehörige Pendel in Ruhe und bringe nur die Schwingungen des anderen Pendels auf dem Papierstreifen des Morse-Telegraphen zur Aufzeichnung. Am Anfang und Schluß des Versuches drücke man unter Beobachtung des Sekundenzeigers einer Uhr zweimal kurz hintereinander auf den Taster, um auf dem Papierstreifen die Schwingungen für eine bestimmte Zahl von Sekunden ablesen zu können. Aus der Zahl der aufgezeichneten Schwingungen und der Sekunden berechne man die Schwingungsdauer des Pendels.

Man entferne die Brücke des Unterbrechers und setze beide Pendel in Bewegung. Nach Beendigung des Versuches untersuche man an

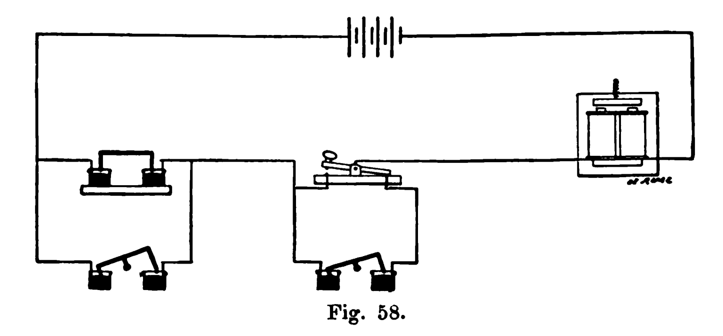


Fig. 58.

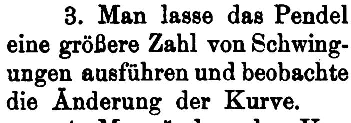
den Zeichen, wann zwei Schwingungen völlig zusammentreffen und berechne daraus den Unterschied der Schwingungszeiten der Pendel.

33. Konisches Pendel. Eine mit fein gesiebtem Sand gefüllte Flasche hänge man an einem dünnen Draht auf, indem man diesen durch ein Brett zieht und das Brett mit Wachs am Boden der Flasche befestigt (Fig. 59). Den Sand lasse man aus einer kurzen, mit ausgezogener Spitze versehenen Glasröhre auslaufen.

Übungen: 1. Man lasse das Pendel in einer Ebene schwingen, während man das untergelegte Blatt Papier rechtwinklig zur Schwingungsebene mit möglichst gleichbleibender Geschwindigkeit fortzieht. Die durch den Sand aufgezeichnete einfache Sinuskurve zeichne man mit Bleistift nach. Man kann auch den Sand nach der oben angegebenen Methode (25) fixieren.

2. Man gebe dem aus seiner Ruhelage entfernten Pendel beim

Loslassen einen seitlichen Stoß und untersuche die auf dem (festliegenden) Papier durch eine einmalige Schwingung entstehende Kurve.



3. Man lasse das Pendel eine größere Zahl von Schwingungen ausführen und beobachte die Änderung der Kurve.

4. Man ändere das Verhältnis von Amplitude und seitlichem Stoß und beobachte wie in der vorigen Übung.

34. Reversionspendel. Man durchbohre einen Kantel aus hartem Holz, etwa 50 cm lang, nahe dem einen Ende und lasse ihn um eine durch dies Loch geführte Achse (Stricknadel), die auf zwei anderen

Fig. 59.

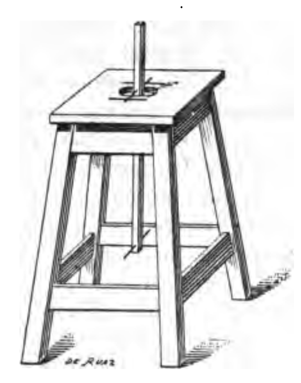


Fig. 60.

Stricknadeln ruht, schwingen (Fig. 60). Man lasse gleichzeitig ein Fadenpendel schwingen und verändere seine Länge, bis beide gleiche Schwingungsdauern haben. Man trage die so bestimmte „reduzierte Pendellänge“ auf dem Kantel von der Achse aus ab und bezeichne den dadurch erhaltenen Punkt, den „Schwingungspunkt“. Man führe durch ihn parallel zur ersten eine zweite Stricknadel und lasse um diese neue Achse schwingen. Hat man die zweite Achse an der richtigen Stelle eingesetzt, so muß die Schwingungsdauer dieselbe sein.

35. Physisches Pendel. Einen Kantel aus hartem Holz, etwa 1 m lang, durchbohre man in Abständen von 1 cm; durch die Löcher füge man Stücke von Stricknadeln fest ein. Als Belastungen benutze man Paare von Bleistücken, von der Breite des Kantels, die man mit 2 um 1 cm voneinander entfernten Löchern versieht, um

sie auf beiden Seiten des Kantels an je zwei benachbarte Stricknadeln befestigen zu können.

Übungen: 1. Man nehme als Achse eine Stricknadel, welche ungefähr um $^1/_3$ der Länge von einem Ende entfernt ist, und schiebe auf die Nadeln am Ende des längeren Teiles 2 Paare von Bleiplatten. Außerdem stecke man auf irgend 2 Nadeln des kürzeren Teiles 2 Paare und beobachte die Schwingungszeit. Dann nehme man eine von diesen letzten 4 Platten ab, stecke sie so auf das längere Stück des Pendels, daß ihre Entfernung von der Drehachse dieselbe bleibt, und bestimme wieder die Schwingungszeit. Dasselbe wiederhole man, bis alle 4 Platten unterhalb der Drehachse sind, aber in derselben Entfernung von ihr wie vorher oben. Man zeichne die Beobachtungen in Koordinatenpapier, indem man als Ordinaten die reziproken Werte der Quadrate der Schwingungszeiten, als Abszissen die Werte $g \sum m\, l$ aufträgt, worin g die für alle Massen gleiche Erdbeschleunigung, also $g\, m\, l$ das Richtungsmoment der Kraft $g\, m$ für eine in der Entfernung l der Mitte der Bleiplatte von der Achse befindliche Masse m ist, und zwar nach oben als negativ, nach unten als positiv gerechnet, die Summe über die 4 Platten erstreckt, deren Stellung geändert wird. Entspricht die Kurve dem Satze: Die Schwingungszeit ist der Wurzel aus dem Richtungsmoment umgekehrt proportional?

2. Man nehme irgendeine der Stricknadeln als Achse und bestimme die Schwingungszeit des am längeren Ende mit 4 Bleiplatten belasteten Pendels. Dann bringe man, um das Richtungsmoment konstant zu erhalten, in gleicher Entfernung von der Achse nach oben und unten je 1 Paar von Bleistücken an und bestimme wieder die Schwingungszeit. Dasselbe wiederhole man für andere Entfernungen. Dann zeichne man die Kurve, welcher die Quadrate der Schwingungszeiten als Ordinaten, die Werte $m\, l^2$, d. h. die Trägheitsmomente der Massen m im Abstande l von der Drehungsachse, als Abszissen angehören, indem man die Schwingungszeit des unbelasteten Pendels der Entfernung 0 zuordnet. Entspricht die erhaltene Kurve dem Satze: Die Schwingungszeit eines physischen Pendels ist bei konstantem Richtungsmoment der Quadratwurzel aus dem Trägheitsmoment proportional? Was bedeutet der Schnittpunkt der Kurve mit der Abszissenachse?

3. Man versuche die beiden gefundenen Gesetze in eine mathematische Formel zu bringen und wende diese auf den besonderen Fall des Pendels an, daß nur eine einzige Masse m in der Entfernung l von der Achse schwingt. Diesen Spezialfall vergleiche man mit der Formel des mathematischen Pendels $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$.

4. Man lasse den Kantel aus vertikaler Stellung einmal ohne Belastung, dann mit einer am oberen Ende angebrachten Belastung umfallen. Wie erklärt sich durch Benutzung der eben gefundenen Gesetze der beobachtete Unterschied der Fallzeiten? — Man verschiebe das Gleitstück eines Metronoms und beobachte die Veränderung der Schwingungszeit (vergl. Fig. 50).

36. Zentrifugalkraft. Man setze auf die Achse der Zentrifugalmaschine (Fig. 61) eine horizontale Messingstange mittels eines in ihrer Mitte befindlichen kurzen Trägers. An diesem befestige man das eine Ende einer Spirale, an deren anderem Ende durchbohrte Metallkugeln angebracht werden, die sich auf der Messingstange verschieben können.

Übungen: 1. Man ändere die Masse der Kugeln und zeige, daß bei gleichbleibender Winkelgeschwindigkeit die durch die Verlängerung der Spiralfeder zu messende Zentrifugalkraft proportional den Massen

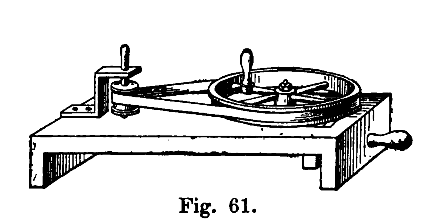


Fig. 61.

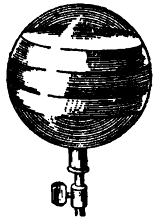


Fig. 62.

wächst. — 2. Man zeige ebenso, daß bei gleichbleibender Masse die Zentrifugalkraft proportional dem Quadrat der Geschwindigkeit wächst. — 3. Man setze eine mit Wasser und Quecksilber gefüllte hohle Glaskugel auf die Zentrifugalmaschine (Fig. 62). Warum entfernt sich das Quecksilber am weitesten von der Drehungsachse?

37. Kreisbewegung. Ein an einem Kautschukfaden befestigtes Gewicht lasse man, etwa um die Ecke eines Tisches als Zentrum,

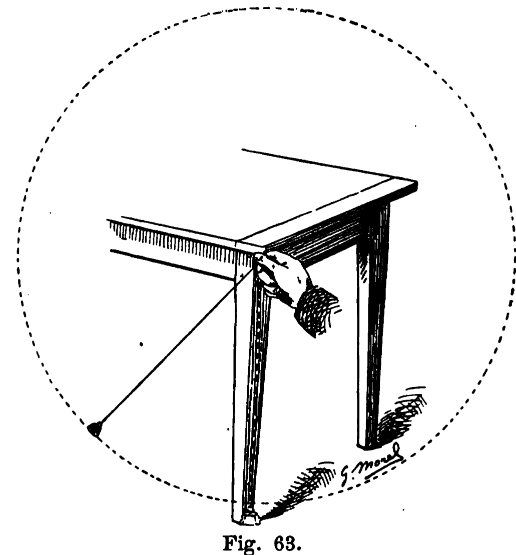


Fig. 63.

so schwingen, daß bei Verlängerung des Kautschuks gerade der Boden berührt wird (Fig. 63).

Man bestimme die Länge r des Fadens bei seiner Ausdehnung bis zum Boden, d. h. die Entfernung der Tischecke vom Boden, ferner die Schwingungsdauer T einer ganzen Kreisbewegung, berechne die Geschwindigkeit des bewegten Körpers nach der Formel $v = \frac{2r\pi}{T}$, die Zentrifugalkraft nach der Formel $C = \frac{m v^2}{r}$ und vergleiche diesen Wert mit dem Gewicht, welches den ruhenden Faden auf dieselbe Länge ausdehnt.

Man lasse einen kürzeren Kautschukfaden entsprechend schneller schwingen und stelle dieselben Messungen an.

---

38. Zugfestigkeit. Beide Enden eines ausgeglühten Kupferdrahtes befestige man so an S-förmigen Messinghaltern, daß der Draht,

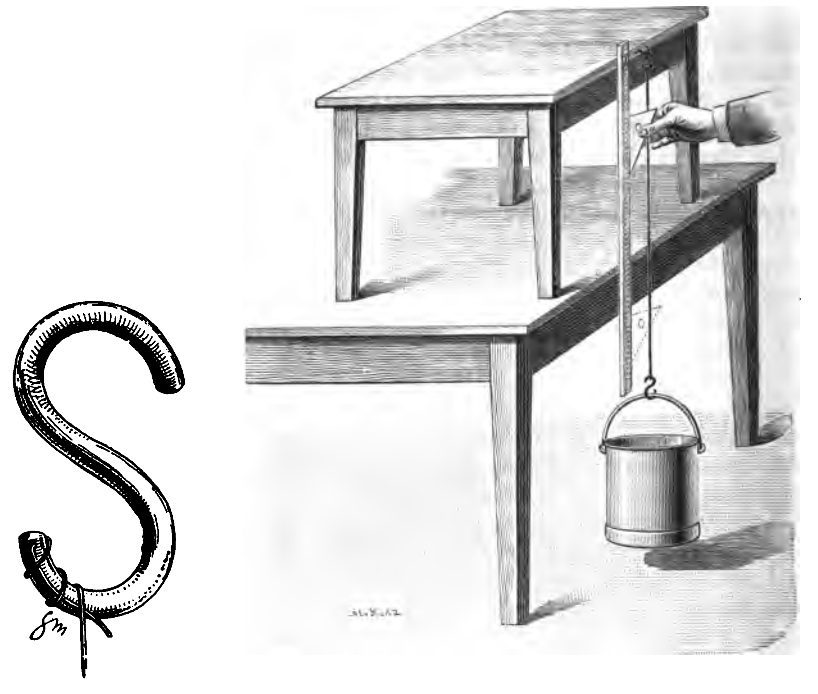


Fig. 64. Fig. 65.

durch ein am Ende befindliches Loch geführt, von den nachfolgenden Windungen umschlungen wird (Fig. 64). Am Draht mache man mit Tinte zwei etwa 60 cm voneinander entfernte Zeichen. Zur Belastung benutze man einen größeren Eimer (Fig. 65).

Übungen: 1. Man gieße bekannte Gewichte Wasser in den Eimer, lese für jede Gewichtszunahme die Verlängerung des Drahtes zwischen den beiden Zeichen ab und untersuche rechnend und graphisch, in welcher Beziehung die elastische Verlängerung zu dem angehängten Gewicht steht. — 2. Man bestimme das Gewicht, welches das Zerreißen des Drahtes bewirkt. — 3. Bei Wiederholung des ersten Versuches beobachte man mit Hilfe der Kurve die elastische Nachwirkung, indem man bisweilen die Belastung wieder verringert, dann aber eine größere Belastung als kurz vorher wirken läßt. — 4. An der Kurve beobachte man insbesondere die Verlängerung des Drahtes nahe vor dem Eintreten des Zerreißens. — 5. Das größere Stück des abgerissenen Drahtes benutze man nochmals, um zu beweisen, daß der Draht nicht gleichmäßig elastisch bezw. fest war. — 6. Man untersuche zwei gleichlange Drähte von demselben Material, von denen der eine durch eine Reduktionsflamme oder einen elektrischen Strom völlig ausgeglüht ist, während der andere frisch gezogen ist.

39. Biegungselastizität und Festigkeit. Einen Tannenstab von quadratischem Querschnitt lege man mit den Enden auf zwei Stützen;

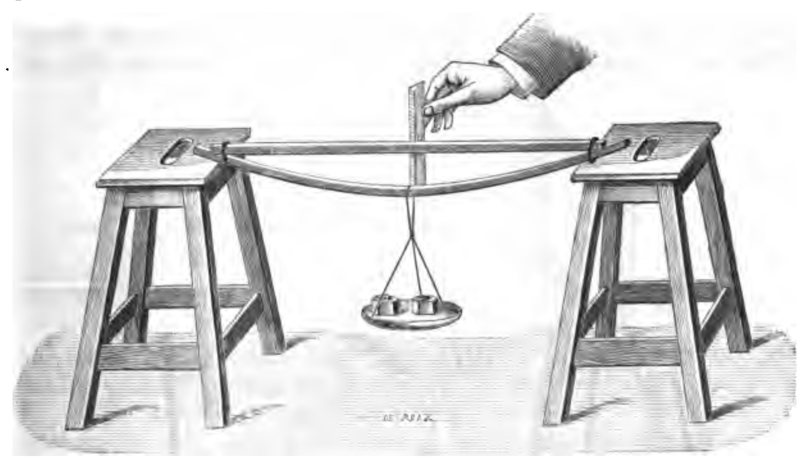


Fig. 66.

auf diesem Stab befestige man einen etwas kürzeren durch Kautschukringe. Über die Mitte hänge man eine Wagschale (Fig. 66).

Übungen: 1. Man messe für eine Gewichtszunahme von je 200 oder 500 gr bis zu einer Gesamtbelastung von etwa 3 kg die Länge der größten Durchbiegung, den Biegungspfeil und konstruiere die Kurve, welche die Lasten als Abszissen, die Biegungspfeile als Ordinaten enthalten. Man beachte, daß fortdauernd wirkende unveränderte Belastung eine allmähliche Zunahme der Durchbiegung veranlaßt. — 2. Man messe für verschiedene Stellen des nicht gebogenen Stabes die vertikale Entfernung bis zum gebogenen und übertrage

diese Messungen in Koordinatenpapier, so daß man ein Bild des gebogenen Stabes bei seiner größten Belastung erhält. **Parallel** zum nichtgebogenen Stab ziehe man eine Anzahl Geraden, messe deren Länge und die zu ihnen gehörigen Biegungspfeile und **suche** hieraus die Beziehung zwischen Durchbiegung und Länge des **Stabes** zu finden. — 3. Mit zwei Stäben, deren Querschnitt nicht **quadratisch**, sondern rechteckig ist, wiederhole man dieselben Versuche, indem man den einen flach, den andern hoch stellt. Man **untersuche** wie die erhaltene Durchbiegung von Höhe h und Breite b des Querschnittes abhängt $\left(\frac{1}{b \cdot h^3}\right)$. — 4. Man setze den ersten Versuch fort, bis der Bruch erfolgt, und beobachte, auf welcher Seite das Zerreißen der Holzfasern eintritt.

40. Graphische Untersuchung der Biegungselastizität. Aus einer etwa 50 cm langen Klaviersaite verfertige man eine Spiral-



Fig. 67.

feder. Diese lege man in eine an einem Ende geschlossene Metallröhre, in die man dann einen Bleistift ziemlich fest einschiebt (**Fig.** 67).

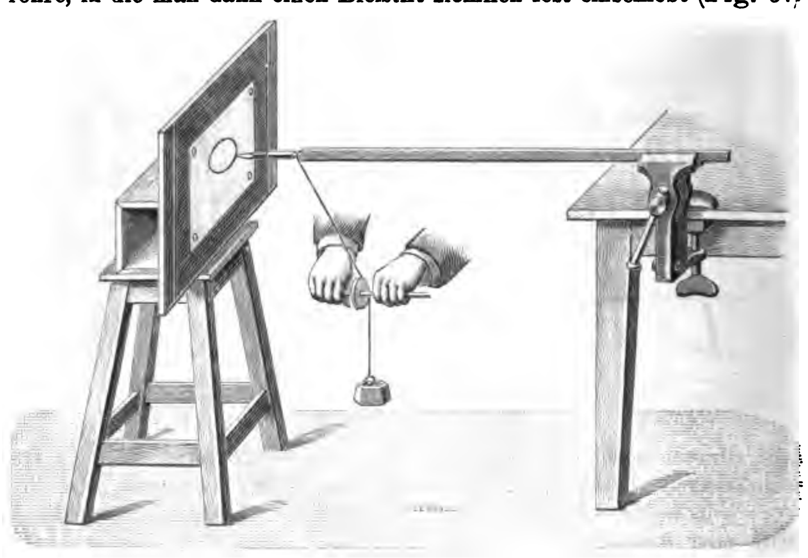


Fig. 68.

Man löte die Röhre auf den Kopf einer Schraube und schraube diese in das eine Ende des zu untersuchenden Stabes, z. B. eines 1 m langen Tannenholzstabes von quadratischem bezw. rechteckigem Querschnitt. Vor die Spitze des Griffels bringe man das Blatt Papier,

auf das der Griffel schreiben soll. An das freie Ende des Stabes hänge man ein Gewichtsstück von 500 gr (Fig. 68).

Man ändere mit Hilfe einer Rolle die Richtung der Kraft, (12) darauf achtend, daß der Faden stets senkrecht zur Stabrichtung bleibt und versuche unter Benutzung jedes der beiden Stäbe den Griffel eine Kurve schreiben zu lassen. Was für eine Gestalt haben diese Kurven?

41. Der Dachbund. Einen Dachbund (Fig. 69) fertige man aus 1 bis 2 cm dicken Holzstäben an, so daß die untere Entfernung AB

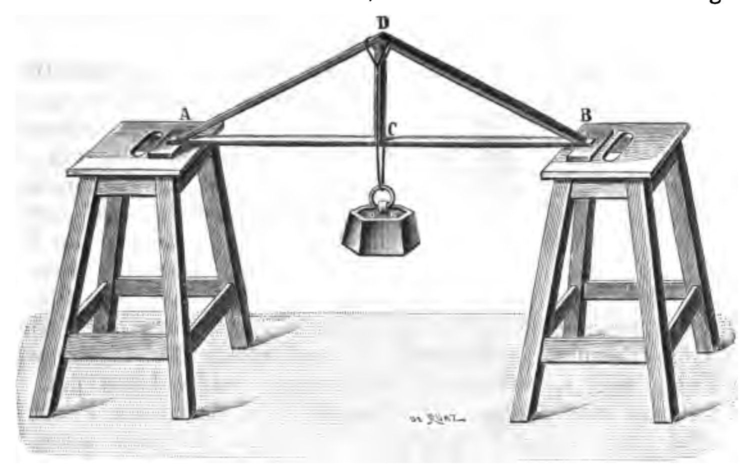


Fig. 69.

1 m, die Höhe CD 25 cm beträgt. Man passe die Enden mit Hilfe einer Holzraspel gut aneinander und befestige sie mit Stiftnägeln.

Den Dachbund lege man mit den beiden Enden auf Unterlagen; dann lege man um den obersten Punkt symmetrisch eine Schlinge und vermehre das Gewicht nach und nach um 5 oder 10 kg.

Man vergleiche die Haltbarkeit dieses Dachbundes mit der leichten Zerbrechlichkeit des Stabes der vorigen Versuche (39).

Man erhöhe die Tragfähigkeit eines außer Gebrauch gesetzten Tisches dadurch, daß man zwischen die Beine horizontale, schräge oder gekreuzte Latten schraubt; letztere befestige man noch in ihrem Kreuzungspunkt aneinander.

42. Blattdynamometer. Man enthärte die Enden eines etwa 1 m langen Stahlstreifens und spanne ihn durch einen starken Faden, der durch an den Enden gebohrte Löcher gezogen ist, so weit, daß der Biegungspfeil etwa 10 cm beträgt. Die Mitte des Streifens lege man zwischen zwei Holzleisten, die am oberen Ende eines vertikal gestellten Lineals mit Maßstab befestigt sind. In die Mitte des Fadens hänge man eine aus dünner Pappe hergestellte leichte Schale (Fig. 70).

Man vergrößere die Belastung nach und nach bis zu 500 gr und lese für jede Gewichtszunahme die Senkung der Mitte des Fadens ab. Die Empfindlichkeit stelle man fest, indem man für jede Gesamtbelastung die durch 10 gr Mehrbelastung hervorgerufene Senkung bestimmt.

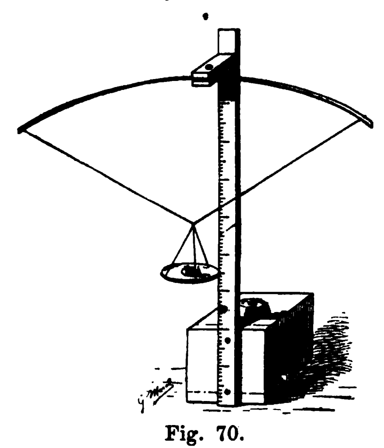


Fig. 70.

Man bestimme das Gewicht eines kleinen Feilklobens und prüfe das Ergebnis mit Hilfe einer Wage nach.

43. Eichung einer Spiralfeder. Man hänge die Spiralfeder an einen am Rand des Tisches befestigten Nagel und belaste sie mit 200, 300 bis 2000 gr. Dann konstruiere man die Kurve, welche die Gewichte als Abszissen, die Längen der Feder als Ordinaten enthält. Aus der Kurve oder durch direkte Rechnung ermittle man die für eine Mehrbelastung von je 100 gr erfolgende Verlängerung der Feder.

Um erkennen zu können, ob man infolge des Eigengewichts der Feder eine Korrektur in der Eichung vorzunehmen hat, vergleiche man zwei Reihen von Versuchen, in denen die Feder das eine Mal oben befestigt und durch die Gewichte nach unten verlängert, das andere Mal unten befestigt und unter Zuhilfenahme einer Rolle nach oben verlängert wird.

44. Federdynamometer. Auf einem Brett befestige man mit Hilfe von Schrauben und Stahldraht eine Spiralfeder oder, wie Fig. 71



Fig. 71.

zeigt, einen Kautschukring so, daß die die Verlängerung anzeigende Spitze auf einem Maßstab entlang geht.

Man eiche das Dynamometer und bestimme dann mit ihm Gewichte, welche man auf der Wage nachprüft.

Bei Benutzung des Kautschukringes führe man, um die elastische Nachwirkung zu vermeiden, stets möglichst schnell die Wiederentlastung herbei.

45. Elastischer Storchschnabel. Man befestige einen Kautschukschlauch oder -stab mit Hilfe einer am Ende gebildeten Schleife an einem Haken nahe dem Rande eines Zeichenbrettes. Durch den Kautschukschlauch steche man zwei Stifte so weit hindurch, daß die Spitzen gerade die Papierfläche berühren (Fig. 72).

Mit der linken Hand ziehe man den Kautschuk so weit aus, daß die eine Spitze die gegebene Zeichnung entlang geht. Der anderen Spitze folge man mit einem Bleistift. — Durch Nachmessen

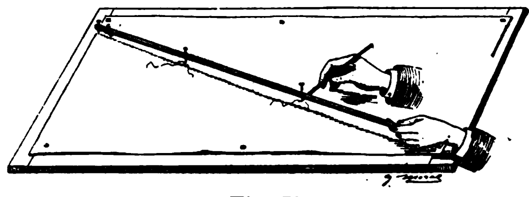


Fig. 72.

entsprechender Seiten und Winkel weise man die Ähnlichkeit beider Zeichnungen nach.

46. Graphische Untersuchung der Verlängerung einer Spiralfeder als Funktion der Belastung. Eine starke Spiralfeder hänge man mit Hilfe eines Hakens an ein vertikal gestelltes Zeichenbrett,

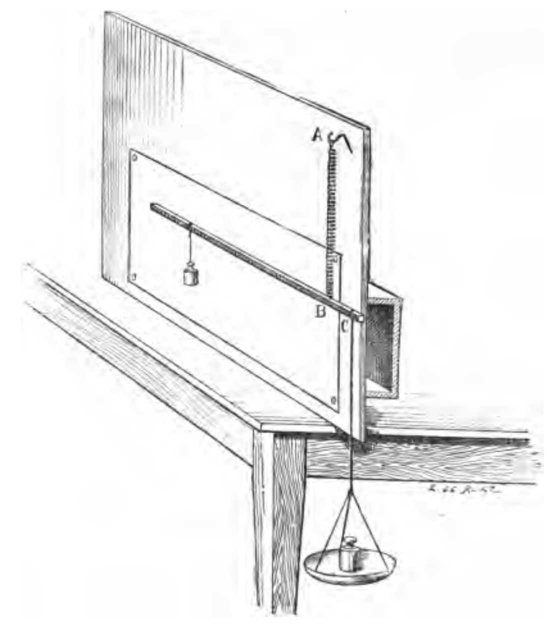


Fig. 73.

auf dem Koordinatenpapier so befestigt ist, daß die Linien vertikal bezw. horizontal laufen. Das Ende der Spiralfeder verbinde man mit dem Drehpunkt eines als Hebel dienenden, mit Maßstab versehenen Kantels, auf dessen längerem Arm ein Laufgewicht von 100 gr gleiten kann, während der kurze Arm eine Wagschale nebst einem Gewicht trägt, wodurch der Kantel im Gleichgewicht gehalten wird.

Um Reibungen zu vermeiden, neige man das Brett ein wenig nach vorn (Fig. 73).

Die Wagschale nach und nach um je 100 gr belastend, verschiebe man das Laufgewicht stets so, daß der Kantel wagerecht steht und bezeichne jedesmal den Aufhängepunkt des Laufgewichtes auf dem Papier. Sämtliche Punkte verbinde man durch eine Kurve; die Ordinaten sind dann gleich den Verlängerungen der Spiralfeder, die Abszissen sind den Belastungen der Schale proportional.

Die zwischen Kurve und Abszissenachse liegende Fläche gibt ein angenähertes Maß der zur Verlängerung geleisteten Arbeit.

Man wiederhole den Versuch für einen Kautschukschlauch und vergleiche beide Kurven und Flächen für gleiche Verlängerungen von Spiralfeder und Kautschukschlauch.

47. Torsion. Messung des Drehmomentes durch Dynamometer. Den zu tordierenden Draht, einen gut ausgezogenen Stahldraht (Klaviersaite) löte man in zwei in der Mitte durchbohrte Messingstäbe. Den oberen Stab lege man auf eine Platte, die mit einem Spalt versehen ist, um den Draht durchführen zu können. Der zweite Stab schwebt, wenn der Draht durch ein Gewicht gespannt wird, dicht über einer entsprechenden Platte (Fig. 74). Den auch an den Enden durch-

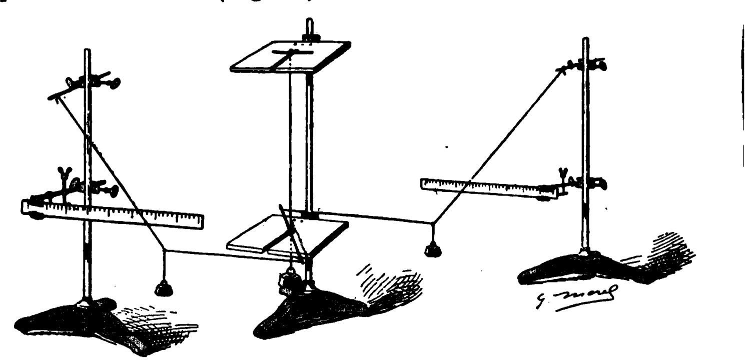


Fig. 74.

bohrten unteren Messingstab verbinde man mit den Fäden zweier Pendeldynamometer.

Man bezeichne auf der unteren Platte die Stellung des unteren Stabes, wenn der Stahldraht nicht tordiert ist und vermerke an den Linealen die Stellung der Pendelfäden, nachdem man die anderen Fadenteile genau horizontal, parallel und rechtwinklig zum unteren Metallstab gestellt hat. Dann gebe man mit Hilfe des oberen Stabes dem Draht eine Torsion von einer halben Drehung, bringe den dadurch gedrehten unteren Stab mit Hilfe der beiden Dynamometer in die alte Lage, darauf achtend, daß er keine Verschiebung erfährt, und daß die Verbindungsfäden wieder parallel und horizontal stehen. Aus dem spannenden Gewicht und der neuen Fadenstellung der Dynamometer

bestimme man die am unteren Stab angreifenden Kräfte P. Hat dieser die Länge $2a$, so ist das Drehmoment des Kräftepaares $2Pa$. Man führe eine Reihe derartiger Versuche für wachsende Drillungen (Torsionen) aus und untersuche, wie das Torsionsmoment, d. h. das Verhältnis des Drehmomentes zu dem im Bogenmaß gemessenen Winkel ($180^0 = \pi = 3{,}14..$) vom Drehmoment abhängt.

Nimmt man an Stelle des Stahldrahtes Drähte von anderer Länge, anderem Durchmesser oder anderem Stoff, so erhält man ein Bild von der Abhängigkeit des Torsionsmomentes von diesen Größen.

Messung des Drehmomentes durch eine Wage. Man klemme mit einer Elementenklemme (Klemme für die Kohle von Bunsenelementen) einen Draht an den Arm einer Tafelwage, möglichst nahe dem Drehpunkt fest (Fig. 75). Das andere Ende löte man in ein in die Mitte eines Messingstäbchens gebohrtes Loch und bringe das Stäbchen hinter ein eine Kreisteilung tragendes geschlitztes Brett, welches

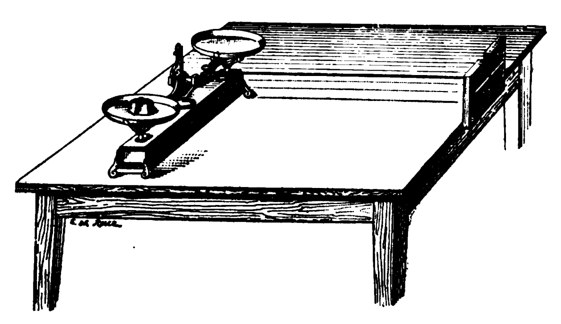


Fig. 75.

am Tischrand befestigt ist. Durch möglichst weites Entfernen der Wage vom Brett spanne man den Draht und lese dann die Stellung des Stäbchens ab, wenn die Wage im Gleichgewicht ist.

Man drehe den Stab um einen beliebigen Winkel und bringe die ausschlagende Wage durch passende Belastung jedesmal wieder in das Gleichgewicht. Wegen der Unveränderlichkeit des Wagebalkens ist das auf den Stab ausgeübte Drehmoment der Belastung proportional.

Man führe eine Anzahl derartiger Versuche durch, indem man nicht nur die Winkel zunehmen, sondern auch zwischendurch wieder einmal abnehmen und dann von neuem zunehmen läßt. Die Resultate trage man in Koordinatenpapier ein, indem man die Drehmomente als Ordinaten, die Drillungswinkel als Abszissen einträgt. Man hat bei den Drillungen die Elastizitätsgrenze überschritten, sobald ein Punkt merklich außerhalb der geraden Linie fällt, welche durch die soeben bewiesene Konstanz des Torsionsmomentes bedingt ist.

Man erwärme den ursprünglich frisch gezogenen Draht mittelst eines Bunsenbrenners oder eines elektrischen Stromes zuerst ganz

schwach, dann bis zur Rotglut und untersuche, wie sich dadurch die Elastizitätsgrenze ändert.

Messung des Drehmomentes durch einen Hebel. Man biege einen Eisenstab, wie Fig. 76 zeigt, rechtwinklig um und befestige ihn auf dem Tische durch kleine Drahtstifte. Die Tordierung

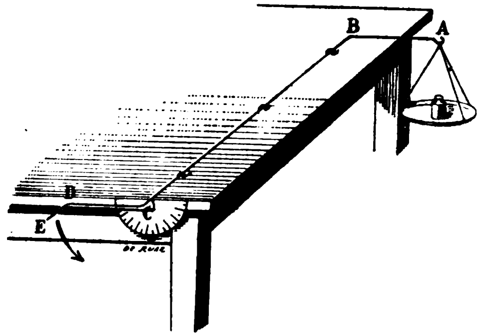


Fig. 76.

erfolgt in der Pfeilrichtung, bis die Wage sich hebt. Die Übungen erfolgen, wie in den vorigen Aufgaben angegeben.

48. Torsionsschwingungen. Man löte die Enden eines Stahldrahtes an zwei in der Mitte durchlochte Messingstäbe von ver-

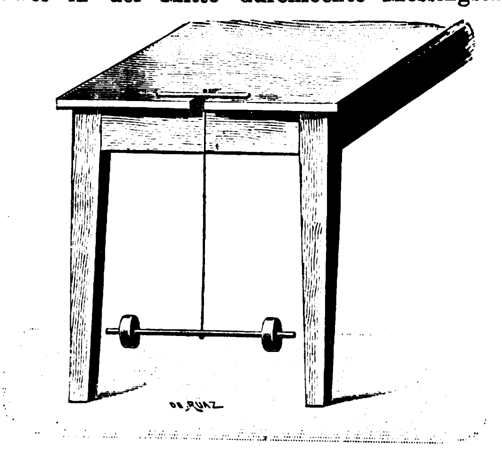


Fig. 77.

schiedener Länge (Fig. 77) und führe auf den unteren längeren Stab zwei scheibenförmige Gewichte von je etwa 200 gr.

1. Man bringe das Pendel um verschiedene Winkel aus der Gleichgewichtslage, bestimme jedesmal die Schwingungsdauer als Mittel von etwa 50 Schwingungen und untersuche, ob die Dauer stets dieselbe bleibt, d. h. also das Drehungsmoment proportional dem Torsionswinkel ist (47).

2. Man spanne verschiedene Drähte ein und untersuche bei konstantem Trägheitsmoment die Abhängigkeit des Torsionsmomentes von Länge und Querschnitt.

49. Bestimmung von Trägheitsmomenten. Man feile in die Mitten zweier Messingstäbe von 40 cm Länge kleine Flächen an, so daß beide, aufeinandergelegt, ein Kreuz bilden. Dieses Kreuz löte man an das eine Ende eines Stahldrahtes, an dessen anderes Ende man eine Klemmschraube anklemmt, mit der man Draht und Kreuz fest aufhängt.

Übungen. 1. Auf einen der Stäbe schiebe man die in voriger Nummer gebrauchten Gewichte m, so daß beide stets gleiche Entfernung r vom Draht haben, diese gemessen bis in die Mitte der Gewichte. Man bestimme die Schwingungszeit dieses Torsionspendels für verschiedene Werte von r, welche man nicht kleiner wählt als 10 cm und trage die Quadrate der erhaltenen Schwingungszeiten als Ordinaten, die Trägheitsmomente $2\,m\,r^2$ als Abszissen in Koordinatenpapier ein. Entspricht die erhaltene Kurve dem Satze: Die Schwingungszeit eines Torsionspendels ist der Quadratwurzel aus dem Trägheitsmoment des schwingenden Systems proportional? Welche physikalische Bedeutung hat die auf der Abszissenachse von der sinngemäß bis zu ihr verlängerten Kurve abgeschnittene Strecke? (25.)

2. Man beschaffe sich zwei gleiche Metallscheiben (Messingscheiben) von 20 bis 25 cm Durchmesser und 1 bis 2 mm Dicke, bohre in ihre Mitte ein kleines Loch und stecke sie erst jede einzeln, dann beide zusammen über den Draht, so daß sie auf das Kreuz zu liegen kommen und bestimme jedesmal die Schwingungszeit. Aus der soeben gezeichneten Kurve entnehme man das Trägheitsmoment der Scheiben, indem man den zum Quadrat der gefundenen Schwingungszeit gehörigen Punkt der Kurve und dann den hierzu gehörigen der Abszissenachse aufsucht. In welcher Beziehung steht das Trägheitsmoment beider Scheiben zur Summe der Trägheitsmomente der einzelnen Scheiben? Ist das gefundene Trägheitsmoment in Übereinstimmung mit dem nach der Formel $\tau = \frac{1}{2}\,MR^2$ berechneten, wo M die Masse, R der Radius der Scheibe ist?

3. Man lege jede dieser Scheiben auf je zwei Arme des Kreuzes, so daß dieses gleichmäßig belastet ist und sichere sie vor dem Herabfallen, indem man sie so nahe als möglich an den Draht heranschiebt und dann mit ein wenig Klebwachs an diesem festklebt. Durch Beobachten der Schwingungszeit bestimme man jetzt das Trägheitsmoment der beiden Scheiben.

Da das Trägheitsmoment eines Körpers um eine beliebige Achse gleich ist der Summe aus 1. dem Trägheitsmoment des Körpers um eine durch seinen Schwerpunkt gehende parallele Achse und 2. dem Produkt der Masse des Körpers in das Quadrat der Entfernung des Schwerpunktes von der wirklichen Drehachse, so muß, da für den vorliegenden Fall diese Entfernung gleich dem Radius ist, das jetzt

gefundene Trägheitsmoment der beiden Scheiben gerade dreimal so groß sein wie das in der zweiten Übung gefundene.

4. Man lege über das Kreuz zwei ebensolche Stäbe, wie die, aus denen es besteht, so, daß sie zwei Seiten eines Rechteckes bilden, durch dessen Mitte die Drehachse geht. Man bestimme die Schwingungszeit dieses Torsionspendels und entnehme aus der Kurve das Trägheitsmoment der beiden Stäbe. Dann messe man die Entfernung der Stäbe von der Drehachse und berechne mit Hilfe des soeben bewiesenen Satzes das Trägheitsmoment der Stäbe in bezug auf eine durch den Schwerpunkt gehende, dem Draht parallele Achse. Man vergleiche es mit dem des Kreuzes, wie es sich aus der ersten Übung ergeben hat.

---

50. Gleitende Reibung. Man lege ein unbelastetes kleines Eichenbrett auf ein größeres aus demselben Material und beobachte, unter welchem Neigungswinkel das Gleiten beginnt, die Bewegung durch einen leichten Stoß einleitend (Fig. 78). Man bestimme das

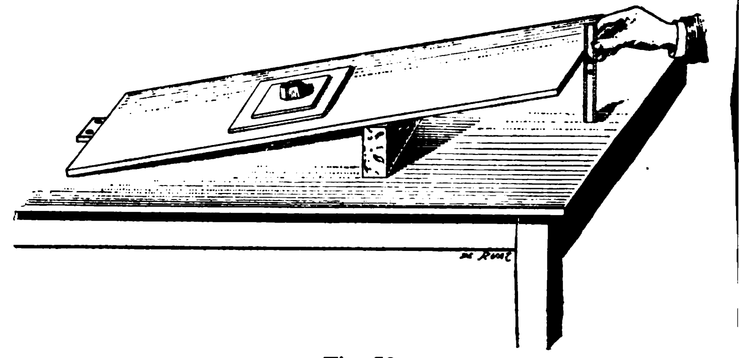


Fig. 78.

Gewicht P des kleinen Brettes, den Neigungswinkel α, die zur schiefen Ebene normale Komponente $P \cos \alpha$ und die der Ebene parallele Komponente $P \sin \alpha$. Da ein Teil der ersteren, $f P \cos \alpha$ die Reibung verursacht, so kann erst Gleiten eintreten, wenn $P \sin \alpha$ mindestens $= f P \cos \alpha$ ist. Hieraus berechne man den Reibungskoeffizienten $f = \operatorname{tg} \alpha$.

Man belaste das Brettchen durch Gewichte und stelle jedesmal den Reibungskoeffizienten fest.

Man suche den Reibungskoeffizienten, wenn die Fasern beider Bretter parallel oder senkrecht sind oder wenn Metall auf Metall oder wenn Metall auf Glas gleitet.

Den Reibungskoeffizienten f von Eisen auf Eis bestimme man, indem man sich auf Schlittschuhen von einem anderen ziehen läßt, durch Vermittlung eines Dynamometers, an welchem man die be-

wegende Kraft P abliest. Der Druck Q ist gleich dem Gewicht des Schlittschuhläufers: $f = \frac{P}{Q}$.

51. Wälzende Reibung. Man bestimme den Neigungswinkel der schiefen Ebene, für welchen das Rollen eines zylinderförmigen Körpers eben beginnen will. Denselben Versuch mit Zylindern von verschiedenem Radius anstellend, untersuche man, welche Beziehung zwischen Neigungswinkel ($\operatorname{tg} \alpha$) und dem Radius r der Walze besteht.

Man lasse ein Brett auf einem andern rollen, wenn zwischen beiden zwei Walzen aus hartem Holz, z. B. Bleistifte oder Stahlkugeln liegen, und bestimme wieder die Abhängigkeit des Neigungswinkels vom Radius.

52. Gleichgewicht auf der schiefen Ebene unter Berücksichtigung der Reibung. Gleitende Reibung. Eine geeichte Spiralfeder befestige man am oberen Rande der schiefen Ebene und

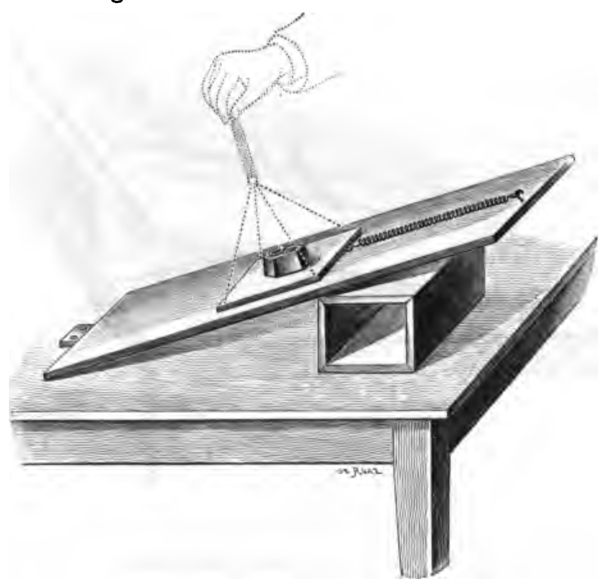


Fig. 79.

an einem auf dieser ruhenden Brett (Fig. 79), welches man durch ein Gewichtsstück von 2 kg belastet.

Um die der schiefen Ebene parallele Komponente des Gesamtgewichtes bestimmen zu können, lege man Kugeln unter das Brettchen. Man berechne die Komponente aus der Verlängerung der Spiralfeder und vergleiche das Resultat mit dem Wert $P \sin \alpha$, worin P das Gewicht des Brettchens und des auf ihm ruhenden Gewichtsstückes, α den Neigungswinkel der schiefen Ebene bedeutet, dessen sinus man mißt.

Um die Normalkomponente zu finden, ersetze man die Spiralfeder durch einen dünnen Draht und befestige sie an den zusammen-

geknüpften Enden von vier in den Ecken des Brettes angebrachten Fäden. Die Spiralfeder senkrecht zur schiefen Ebene haltend, bestimme man die Zugkraft, bei welcher das Brettchen sich abzuheben Neigung zeigt, und vergleiche das Resultat mit dem Wert $P\cos\alpha$.

Dann bringe man die Spiralfeder wieder in die frühere Lage und entferne die unter dem Brett liegenden Kugeln.

Man bestimme für denselben Neigungswinkel die beiden äußersten Spannungen der Spiralfeder, für welche die Bewegung in der einen oder andern Richtung eintritt. Sind diese Zugkräfte y_1 und y_2, so kann man aus den Gleichungen: $y_1 = P\sin\alpha + fP\cos\alpha$ und $y_2 = P\sin\alpha - fP\cos\alpha$ die Reibung $f = \frac{y_1 - y_2}{2P\cos\alpha}$ berechnen. Man vergleiche diesen Wert mit dem in Nr. 50 gefundenen.

Wälzende Reibung. Als Walze benutze man eine mit Bleischrot fest gefüllte Glasröhre. An zwei durch die Korkstöpsel ge-

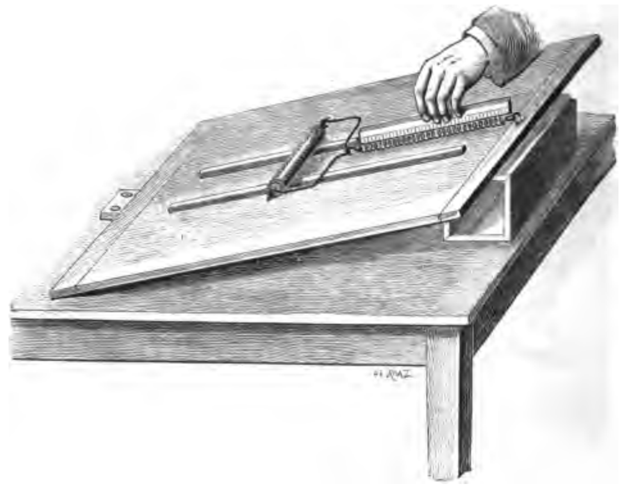


Fig. 80.

führten Stricknadeln befestige man den Eisendraht, welcher die Verbindung mit der Stahlspirale herstellt (Fig. 80).

Man wiederhole die vorhergehenden Versuche, untersuche die Abhängigkeit der Reibung vom Radius der Walze, indem man Glasröhren von verschiedenem Durchmesser benutzt und vergleiche das Resultat mit dem in Nr. 51 gefundenen.

53. Bremsdynamometer. Um mit Hilfe der Reibung die mechanische Leistung eines Motors bestimmen zu können, konstruiere man einen Pronyschen Zaum (Fig. 81). Auf die Achse des Motors schiebe man fest anschließend eine dicke Holzplatte. An dieser befestige man eine Holzleiste, die an ihren Enden Wagschalen trägt. Eine zu große Bewegung dieses Wagebalkens nach oben und unten werde durch zwei vertikal gestellte Stützen verhindert.

Man setze den Motor in Bewegung und bringe die Schale, welche infolge der Achsenreibung hochgehoben wird, durch aufgelegte Gewichte P wieder ins Gleichgewicht. Ist r die horizontale Entfernung der Achse von der durch den Aufhängepunkt der Wagschale



Fig. 81.

gehenden Vertikalen, so ist $P\,2\,r\,\pi$ mkg die durch die Reibung während einer Umdrehung geleistete Arbeit.

Man bestimme ferner die Zahl n der Umdrehungen der Achse in der Minute und berechne die während einer Sekunde geleistete Arbeit.

$$P\,2\,r\,\pi\,\frac{n}{60}\,\text{mkgsek} = \frac{n\,P\,r\,\pi}{30}\,\text{mkgsek}$$

$$= \frac{n\,P\,r\,\pi}{30 \cdot 75}\ \text{Pferdestärken}\ (\mathfrak{P}).$$

54. Zusammengesetzte Reibung. An einem Wagen auf horizontaler Ebene befestige man einen doppelt gelegten Kautschukschlauch, dessen Spannkraft man in der für eine Spiralfeder angegebenen Art bestimmt hat. Wie ändert sich die Zugkraft mit der Belastung? mit der Geschwindigkeit? Welche Kraft ist nötig, um eine konstante Geschwindigkeit des Wagens aufrecht zu erhalten?

55. Arbeitsleistung von belebten Motoren (Menschen). Steht ein hinreichend großer Platz zur Verfügung, so zeichne man auf demselben einen großen Kreis (100 m und mehr Umfang), den man genau ausmißt. Der Beobachter setze sich auf einen kleinen Handwagen und lasse sich von einem Gefährten unter Zwischenschaltung eines Dynamometers auf dem Kreise herumfahren. Aus der am Dynamometer abzulesenden Zugkraft des Gefährten und dem zurückgelegten Weg berechne man die geleistete Gesamtarbeit und den Effekt, d. h. die in der Zeiteinheit geleisteten Arbeit. Man wiederhole die Versuche für verschiedene Geschwindigkeiten und beobachte jedesmal Gesamtarbeit und Effekt. Durch Steigerung der Geschwindigkeit und Belastung des Wagens suche man den größtmöglichen Effekt zu erzielen. Auch bestimme man die größtmögliche Gesamtarbeit, indem man bis zur Erschöpfung zieht.

56. Reibung der Ruhe und der Bewegung. Ein Lineal (Meterstab) lege man auf die vorgestreckten Zeigefinger beider Hände und versuche die Finger einander zu nähern. Der Finger, welcher aus irgend einem Grunde eine, wenn auch noch so wenig, geringere Reibung erfährt, wird sich zuerst in Bewegung setzen und dann so lange in Bewegung bleiben, bis der ständig größer werdende Druck multipliziert mit dem Koeffizieuten der gleitenden Reibung einen größeren Wert ergibt, als der ständig kleiner werdende Druck auf dem anderen Finger multipliziert mit dem größeren Reibungskoeffizienten des Überganges aus des Ruhe in Bewegung. Der Wechsel der Bewegung wiederholt sich bis zur Mitte des Lineals.

57. Reibung von Seilen. 1. Bei der aus Fig. 82 ersichtlichen Anordnung lege man auf die rechte der beiden Wagschalen, die jede

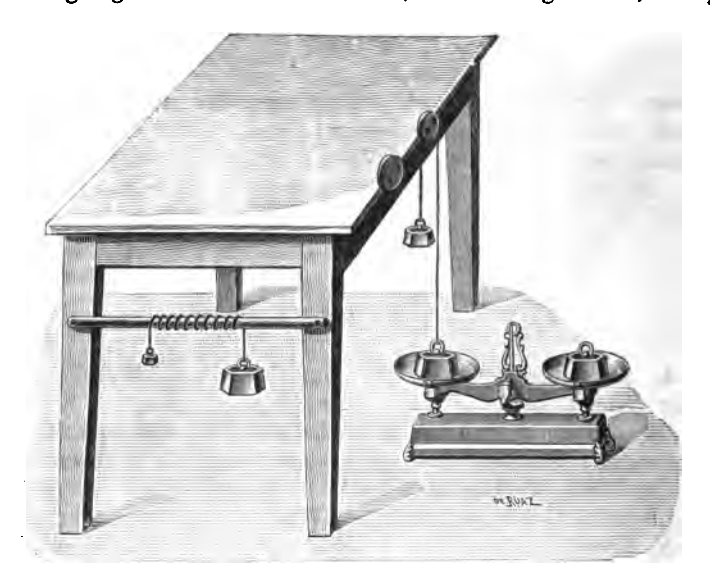


Fig. 82.

5 kg tragen, ein Übergewicht P, welches das den Faden spannende Gewicht p in Bewegung zu setzen imstande ist, wobei die mit 2 Schrauben befestigte Rolle selbst unbeweglich bleibt. Das Gewicht p nach und nach von 50 gr bis 2 kg vermehrend, bestimme man das Verhältnis $\frac{P}{p}$ als Funktion von p. — 2. Man ändere die Anordnung dadurch, daß der Faden einmal ganz um die Rolle geführt wird; die Fäden lege man nebeneinander. — 3. Dieselben Versuche führe man mit einer Rolle mit anderem Durchmesser aus. — 4. Man führe einen Faden — wie Fig. 82 zeigt — zehnmal über einen zylin-

drischen Holzstab und zeige, daß eine beträchtliche Last erforderlich ist, den Faden zum Gleiten zu bringen, selbst wenn er nur durch ein Gewicht von 100 gr gespannt wird.

58. Reibung am Flaschenzuge. Bei der aus Fig. 83 ersichtlichen Anordnung kann man aus dem Gewichtsverlust, den der auf der Brückenwage stehende Mann durch das Heraufziehen des Fasses erleidet, direkt messen, welche Kraft nötig ist, um das Faß emporzuziehen. Aus dem auf der Brückenwage gefundenen Gewicht des Fasses und aus der Anordnung des Differentialflaschenzuges läßt sich die Kraft berechnen, welche ohne Berücksichtigung der Reibung zum Aufziehen nur nötig ist. Die Differenz beider Kräfte gibt den Widerstand der Reibung an.



Fig. 83.

Das Verhältnis der berechneten Kraft zu der auf der Wage festgestellten ist der Wirkungsgrad des Flaschenzuges.

59. Stoß elastischer Körper. Zwei gleichgroße Billardkugeln befestige man an je 2 langen Fäden, indem man den um einen größten Kreis herumgelegten Faden an einigen Punkten mit Klebewachs anklebt. Die Fäden hänge man, wie Fig. 84 zeigt, an vorstehenden Stützen auf. Unter die Kugeln lege man ein Lineal mit Maßstab, auf dem man die genaue Stellung der Kugeln mit Hilfe eines kleinen Klötzchens bestimmt. Die Kugeln lasse man in der Ruhelage sich berühren und einige Zentimeter über dem Maßstab stehen. Dabei achte man darauf, daß die Mittelpunkte der Kugeln gleich hoch stehen und die Verbindungslinie der ersteren in die Bewegungsrichtung fällt.

Übungen: 1. Die eine Kugel bleibe in Ruhe, die andere werde ein Stück aus der Gleichgewichtslage gehoben und ohne Anfangsgeschwindigkeit losgelassen. Nach dem Zusammenprallen messe man, ob die Entfernung der zweiten Kugel aus ihrer Gleichgewichtslage gleich der der ersten geworden ist. — 2. Beide Kugeln entferne man nach derselben Seite verschieden weit aus der Ruhelage, lasse sie

beide gleichzeitig los und untersuche, ob sie mit ausgetauschter Geschwindigkeit weitergehen. — 3. Beide Kugeln entferne man nach verschiedenen Seiten gleichweit, lasse sie dann gegeneinander prallen und prüfe, ob sie mit der alten Geschwindigkeit zurückgehen. — 4. Man entferne beide Kugeln nach verschiedenen Seiten verschieden weit und beobachte, ob sie nach dem Zusammenprallen mit ausgetauschter Geschwindigkeit zurückgehen. — 5. Man ersetze eine Kugel durch einen Bleiklotz und zeige, daß die Kugel nicht wieder

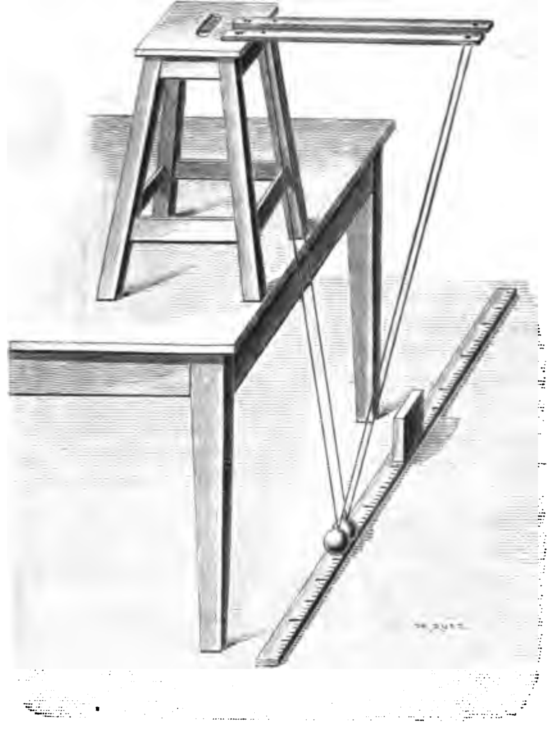


Fig. 84.

zurückgeht, wie im ersten Versuch, sondern mit dem Klotz ein Stückchen vorwärts geht.

60. Formveränderung elastischer Körper beim Stoße. Man lasse eine Kugel auf eine Metall- oder Steinplatte fallen, die man leicht geölt oder berußt hat, und beobachte, daß die Kugel einen Kreis abgezeichnet, der um so größer ist, je größer die Kugel und die Fallhöhe sind.

61. Fortpflanzung von Kräften. Man zerbreche einen Besenstiel, der mit den Enden auf schwachen Unterlagen ruht, indem man mit einem Stock einen kräftigen Schlag auf die Mitte ausübt.

Man schlage einen Nagel in ein Brett, das man frei in der Hand hält.

Man wiederhole den Versuch, indem man das Brett auf einen Metallklotz (schweren Hammer) legt und diesen in der Hand hält.

Man schichte die Steine eines Damespiels aufeinander und schlage durch einen horizontal geführten Schlag einen Stein aus der Mitte heraus.

Man halte einen schweren Körper an einem Faden, bringe unterhalb des Körpers einen Faden derselben Sorte an und zeige, daß man je nach der Geschwindigkeit des Anziehens am unteren Faden den oberen oder den unteren zerreißen kann.



III. Mechanik flüssiger Körper.

62. Freie Oberflächen. Man hänge ein Bleilot oberhalb einer breiten Schale, die mit Tinte stark gefärbtes Wasser enthält, so auf, daß das Blei in das Wasser taucht (Fig. 85). Mit Hilfe eines andern vor das Auge gehaltenen Lots prüfe man, ob das durch Reflexion an der Wasserfläche entstandene Bild des ersten Fadens mit diesem eine gerade Linie bildet.

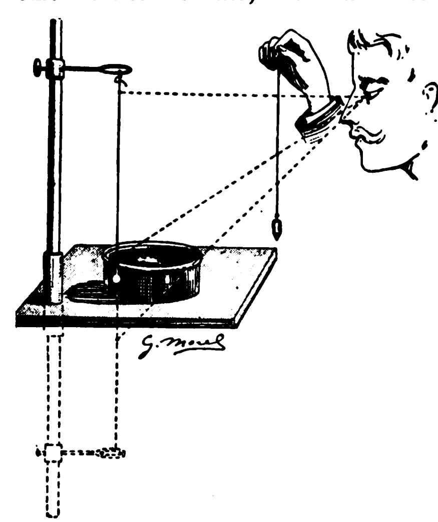


Fig. 85.

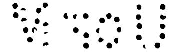
Man wiederhole den Versuch für Quecksilber und für Wasser auf Quecksilber. Was folgt aus diesen Beobachtungen für die Richtung der freien Oberfläche in bezug auf den Horizont?

63. Kommunizierende Gefäße. Man verbinde zwei in ungleicher Höhe stehende mit Wasser gefüllte Kristallisierschalen (Fig. 86) durch ein zweimal gebogenes Rohr, Saugheber, sauge diesen an und beobachte, wie lange das Wasser fließt.



Fig. 86.

Mit Hilfe zweier Flaschen, deren Boden man entfernt hat, oder zweier Trichter und eines langen Kautschukschlauches zeichne man



eine horizontale Linie an der Wand, indem man die eine Flasche fest aufhängt und, mit der andern an der Wand entlang gehend, die Höhe der Wasseroberfläche an der Wand bezeichnet.

64. Druck in einer Flüssigkeit.

Druck von oben nach unten (Pascalsche Gefäße). Man verschließe der Reihe nach die untere Öffnung einer Anzahl von auf

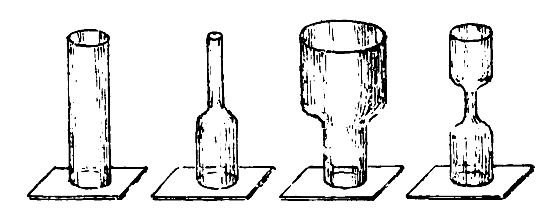


Fig. 87.

beiden Seiten offenen Glasgefäßen von verschiedener Gestalt (Fig. 87) aber gleicher Bodenfläche durch eine Glasplatte, in deren Mitte eine Spiralfeder befestigt ist, die im gespannten Zustande an einem über die obere Öffnung gelegten Stab aufgehängt wird und so den Boden jedesmal mit derselben Kraft andrückt. In diese Gefäße gieße man vorsichtig Wasser, bis die Glasplatte sich abhebt. Man vergleiche die hierzu erforderlichen Höhen der Wassersäule in den verschiedenen Gefäßen.

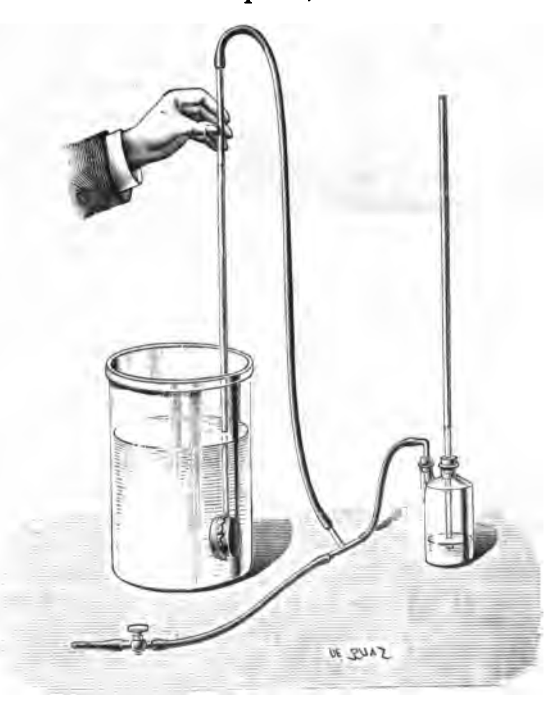


Fig. 88.

Seitlicher Druck. An eine durch eine Kautschukmembran verschlossene Dose löte man seitlich eine Röhre, die man mit Hilfe eines T-Stückes aus Glas mit einem Wassermanometer und mit einem mit Hahn versehenen Kautschukschlauch verbindet (Fig. 88). Man tauche die

Dose senkrecht in ein größeres mit Wasser gefülltes Gefäß bis nahe an den Boden und beobachte, wie die Membran eingedrückt wird. Dann blase man Luft durch den Schlauch, bis die Membran wieder eben ist, und messe die Höhe im Manometerrohr.

Man vergleiche diese Höhe mit der Tiefe der Mitte der Membran unter der Wasserfläche. Wie ändert sich der Druck, wenn die Membran in derselben Tiefe schräg oder horizontal gehalten wird?


Fig. 89.

Druck von unten nach oben (Auftrieb). Man tauche einen durch ein quadratisches Stück Kartonpapier unten verdeckten Lampenzylinder tief in ein Gefäß mit Wasser (Fig. 89), stelle in den Zylinder einen Eisenstab so hinein, daß er genau auf der Mitte der Scheibe steht, und hebe den Zylinder langsam hoch, die Höhe des Wasserspiegels, bei welcher sich das Kartonblatt ablöst, durch einen um den Zylinder gelegten Kautschukring bezeichnend. Man wiederhole den Versuch für Stäbe von verschiedenem Gewicht, berechne jedesmal aus dem Radius des Zylinders und der Höhe des Wassers über der Scheibe den Auftrieb $P = r^2 \pi h$ und vergleiche die Resultate mit dem Gewicht der Eisenstäbe.

Man bringe an Stelle der Eisenstäbe Wasser in den Zylinder. In welchem Augenblick löst sich das Kartonblatt ab?

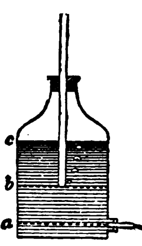


Fig. 90.

65. Die Mariottesche Flasche ist eine nahe über dem Boden tubulierte Flasche, durch deren Hals eine längere, durch deren Tubus eine kürzere Glasröhre geht (Fig. 90).

Um die Druckverhältnisse in einer Mariotteschen Flasche untersuchen zu können, schließe man die Ausflußöffnung durch einen mit Quetschhahn versehenen kurzen Kautschukschlauch oder durch einen Glashahn, fülle die Flasche mit Wasser, so daß etwas Luft in ihr bleibt, und füge in den Hals einen doppelt durchbohrten Kork, durch den außer der längeren Röhre die die Dose tragende Röhre der in Nr. 64 benutzten Versuchsanordnung führt.

Dann öffne man die Ausflußöffnung, beobachte den Vorgang in der Mariotteschen Flasche und messe nach der in Nr. 64 angegebenen Weise den Druck am unteren Ende der offenen Glasröhre (b) und in der Höhe der Ausflußöffnung (a). Man wiederhole den Versuch, in-

dem man die längere Glasröhre mehr oder oder weniger tief in die Flasche schiebt.

66. Segnersches Wasserrad. Einen mittels eines Kautschukringes an einem Seidenfaden aufgehängten Lampenzylinder verschließe man am unteren Ende durch einen Korkstöpsel, durch den, wie Fig. 91 zeigt, zwei rechtwinklig gebogene Glasröhren gehen. In welcher Richtung dreht sich der mit Wasser gefüllte Zylinder, und wie hängt diese Erscheinung mit dem soeben gefundenen Satz zusammen, daß in einer Flüssigkeit der Druck sich nach allen Seiten gleichmäßig fortpflanzt?

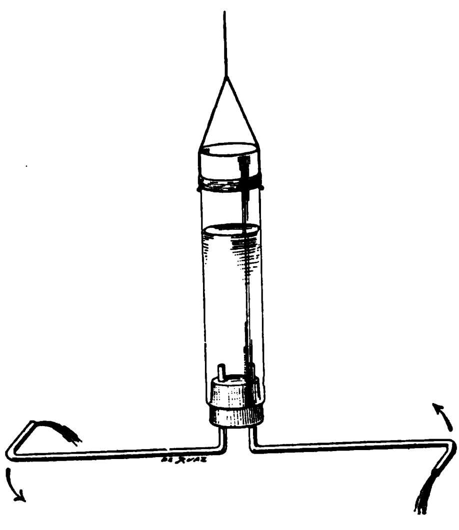


Fig. 91.

67. Gegendruck des Sandes. In ein mit Sand gefülltes Gefäß drücke man vertikal einen zylindrischen Stab hinein, indem man ihn allmählich mit immer größeren Gewichten belastet. Man berechne aus dem Radius r des Zylinders, der Höhe h des eingedrückten Teiles, und dem spezifischen Gewicht p des Sandes, in der Annahme, der Sand wirke wie eine Flüssigkeit, den Auftrieb $P = r^2 \pi h p$ und vergleiche das Resultat mit der Belastung des Stabes.

Man wiederhole den Versuch, indem man den Sand mehr und mehr anfeuchtet, bis er schließlich ganz aufgeschwemmt ist.

68. Archimedisches Prinzip für Flüssigkeiten. Man stelle eine Tafelwage auf ein an den Tisch geschraubtes, mit einem Ende vorstehendes Brett (Fig. 92). Eine nicht zu kleine, verschlossene, mit Wasser gefüllte Flasche hänge man mit Hilfe einer aus zwei durch Fäden verbundenen Holzstäbchen hergestellten Aufhängevorrichtung so unter die vorstehende Wagschale, daß die Flasche in ein größeres mit Wasser gefülltes Gefäß tauchen kann. Über den Rand dieses Gefäßes hänge man einen Heber.

Gewichtsverlust des Körpers. Man tariere die Flasche nebst Aufhängevorrichtung ab, sauge den Heber an, hänge, wenn er zu fließen aufhört, die Flasche in das Wasser und fange die jetzt aus dem Heber ausfließende Wassermenge auf. Dann bringe man die Wage wieder ins Gleichgewicht und vergleiche die hierzu erforderliche Entlastung mit dem Gewicht der durch die Flasche verdrängten Flüssigkeitsmenge. Welches Gesetz ergibt sich hieraus für die Größe des Gewichtsverlustes des Tauchkörpers?

Gewichtszunahme des Wassers. Man stelle das große Gefäß auf die Schale, tariere ab, halte die Flasche mittels eines Fadens in das Wasser und stelle das Gleichgewicht der Wage wieder her. Welche Beziehung ergibt sich zwischen dem im vorigen Versuch gefundenen Gewichtsverlust des Tauchkörpers und der Gewichtszunahme des Wassers?

Archimedisches Prinzip. Man stelle zwei Tafelwagen derart senkrecht untereinander, daß das aus dem Heber des auf der oberen Wage stehenden Gefäßes ausfließende Wasser in ein anderes auf der

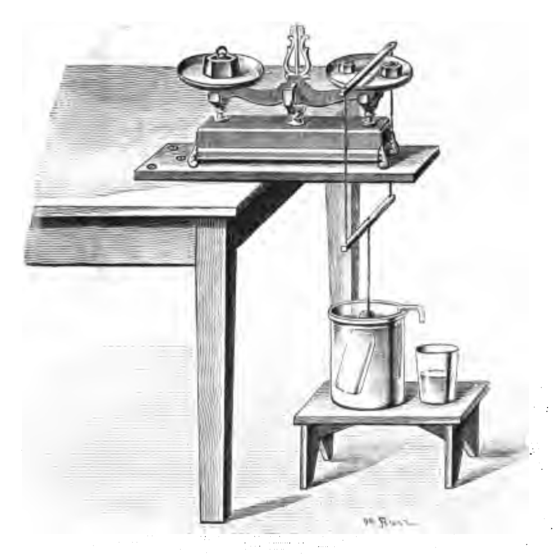


Fig. 92.

unteren Wage stehendes gleichfalls mit Wasser gefülltes Gefäß fließen kann. Man bringe die obere Wage ins Gleichgewicht, wenn der angesaugte Heber zu fließen aufgehört hat, hänge die Flasche am Faden in das untere Gefäß und bringe auch diese Wage ins Gleichgewicht. Hängt man dann die Flasche in das obere Gefäß, so fließt das durch sie verdrängte Wasser in das untere, und beide Wagen stellen sich ins Gleichgewicht.

Benutzung eines anderen Stoffes für den Tauchkörper. Man wiederhole die Versuche, wenn die Flasche mit Quecksilber gefüllt ist. Welchen Einfluß hat der Stoff des Tauchkörpers auf das Archimedische Prinzip?

69. Das Schwimmen des Körpers. Man lasse eine verschlossene, zur Hälfte mit Wasser gefüllte Flasche in einem mit Saugheber (68) versehenen, gleichfalls mit Wasser gefüllten Gefäß schwimmen und fange das durch den Heber abfließende Wasser auf. In welcher

Beziehung steht das Gewicht der Flasche zu dem der verdrängten Wassermenge?

Man wiederhole denselben Versuch, wenn das Gefäß mit Petroleum gefüllt ist, und beobachte das tiefere Eintauchen der Flasche.

70. Cartesianischer Taucher. An eine kleine Glaskugel, etwa 4 cm im Durchmesser, schmelze man eine unten verschlossene kurze Glasröhre, welcher man seitlich eine feine Öffnung gibt. An das untere Ende der Röhre schmelze man einen Draht, an welchem man eine kleine Wagschale befestigt. Auf diese Schale lege man soviel Gewichte oder Schrotkörner, daß der Taucher im Wasser schwimmt. Man bringe ihn in einen mit Wasser nahezu gefüllten Standzylinder, den man oben durch eine Kautschukmembran verschließt. Drückt man auf die Membran, so pflanzt sich der durch Verdichtung der Luft entstehende Druck durch das Wasser fort. Man beobachte die Röhre des Tauchers, wenn dieser sinkt oder steigt.

71. Spezifisches Gewicht fester Körper. Körper von regelmäßiger Gestalt. Man bestimme mit der Schublehre die Kante eines Würfels aus Marmor oder — als Mittel aus mehreren Messungen — den Durchmesser einer Kugel aus Holz und berechne das Volumen. Aus dem dadurch gegebenen Gewicht eines gleichen Volumens Wasser und dem absoluten Gewicht der Körper berechne man ihr spezifisches Gewicht.

Körper von unregelmäßiger Gestalt. Man bestimme das absolute Gewicht eines Stückes Schwefel, ferner das Gewicht eines gleichen Volumens Wasser, indem man den Schwefel in einen mit Wasser gefüllten Maßzylinder bringt und feststellt, um wieviel das Wasser dadurch steigt, oder indem man den Schwefel an einem Faden in ein auf der Wage stehendes Gefäß mit Wasser taucht und die Gewichtszunahme des letzteren bestimmt, oder auch, indem man den Gewichtsverlust des an dem einen Balken einer Wage hängenden Schwefels bestimmt, der in ein mit Wasser gefülltes, nicht auf der Wage stehendes Gefäß taucht. Aus dem absoluten Gewicht des Schwefels und dem Gewicht des gleichen Volumens Wasser berechne man das spezifische Gewicht des Schwefels.

Wie kann man das spezifische Gewicht eines Körpers finden, der leichter ist als Wasser, z. B. eines Stückes Kork?

Körper von körniger Beschaffenheit. Man wäge auf derselben Wagschale gleichzeitig Sand und eine bis zu einer Marke am Halse mit Wasser gefüllten Flasche, Pyknometer, bringe dann den Sand in das Wasser und lasse soviel Wasser ausfließen, daß die Flasche wieder bis zur Marke gefüllt ist, und bestimme durch Wiederherstellung des Gleichgewichtes der Wage das Gewicht des durch den Sand verdrängten Wassers. Aus dem absoluten Gewicht des Sandes und dem Gewicht des gleichen Volumens Wasser berechne man das spezifische Gewicht des Sandes.

In Wasser lösliche Körper. Man suche in einer der im zweiten Versuch angegebenen Arten das spezifische Gewicht eines

Kupfervitriolkristalls in bezug auf Petroleum, dessen spezifisches Gewicht in bezug auf Wasser als bekannt vorausgesetzt oder, wie in Nr. 72 angegeben, zu bestimmen ist, und leite dann das spezifische Gewicht des Kristalles in bezug auf Wasser ab.

Einfluß der Temperatur des Wassers. Man wiederhole einen der Versuche für Wasser mit verschiedenen Temperaturen und vergleiche die gefundenen Resultate.

72. Spezifisches Gewicht flüssiger Körper. Man wäge eine kleine Flasche, Pyknometer, zuerst leer, dann mit Wasser, dann mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, beide Male bis zu einer mittels

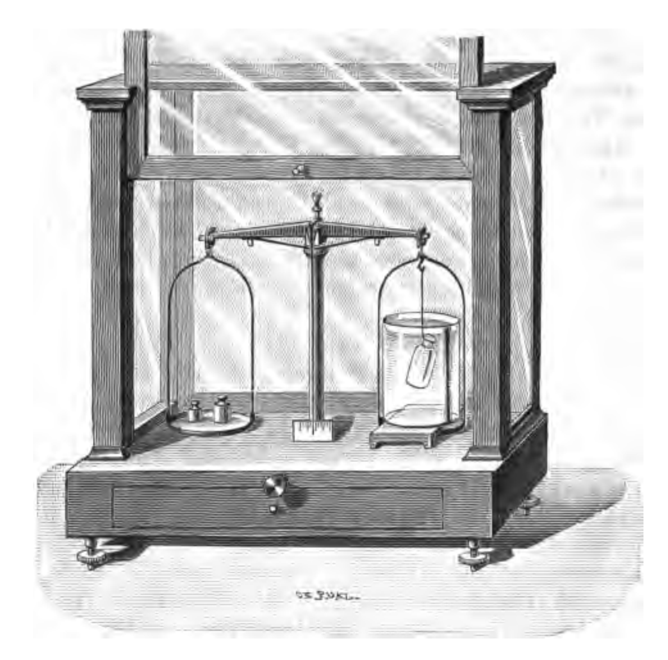


Fig. 93.

gummierten Papiers am Halse angebrachten Marke gefüllt, bestimme durch Subtraktion das Gewicht der benutzten Flüssigkeitsmengen und berechne das spezifische Gewicht der zu untersuchenden Flüssigkeit.

Man hänge eine durch einen gut schließenden Korkstöpsel verschlossene, mit Wasser gefüllte Flasche an einen Arm der Wage und lasse die Flasche in ein Gefäß tauchen, das selbst nicht auf der Wagschale steht (Fig. 93). Man fülle das Gefäß zuerst mit Wasser, dann mit der zu untersuchenden Flüssigkeit, bestimme jedesmal den Gewichtsverlust der Flasche und berechne daraus das spezifische Gewicht der Flüssigkeit. — Diesen Versuch wiederhole man für Lösungen von schwefligsaurem und unterschwefligsaurem Natrium von

verschiedener Konzentration und zeichne die Kurven, welche das spezifische Gewicht als Funktion vom Prozentgehalt darstellen.

Man biege zwei Glasröhren an einem Ende rechtwinklig um und verbinde diese Enden mittels kurzer Kautschukschläuche mit einem T-Stück, an dessen freiem Ende wieder ein Kautschukschlauch angebracht wird (Fig. 94), der durch einen Quetschhahn (Fig. 95) geschlossen werden kann. Man stelle die Röhren senkrecht in zwei

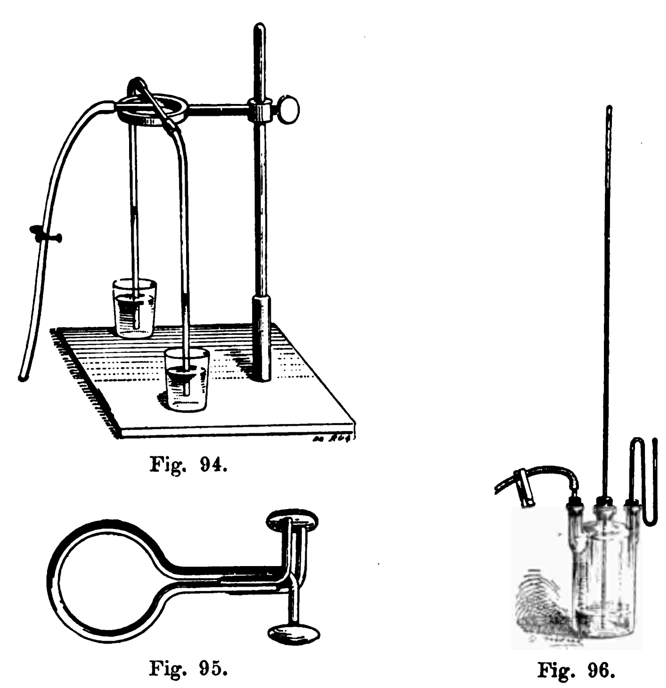


Fig. 94.

Fig. 95.

Fig. 96.

Gefäße, von denen das eine mit Wasser, das andere mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllt ist. Man sauge dann die Luft teilweise heraus. Man vergleiche das Verhältnis der Längen der Flüssigkeitssäulen mit dem der spezifischen Gewichte.

Eine gerade Röhre befestige man im Hals einer Flasche mit 2 Tuben (Fig. 96). Durch den einen Tubus führe man eine mit Quecksilber gefüllte, S-förmig gebogene Röhre, durch den anderen Tubus eine kurze Glasröhre mit Kautschukschlauch und Quetschhahn. Man kann auch statt der tubulierten Flasche eine Flasche mit dreifach durchbohrtem Korken benutzen. Man fülle diese Flasche teilweise mit Wasser, verdichte die Luft in ihr, so daß das Wasser etwa um 80 cm steigt, messe die Steighöhe des Wassers und den Höhenunterschied des Quecksilbers und berechne, wie vorher, das spezifische Gewicht des Quecksilbers.



Fig. 97.

73. Springbrunnen mit zwei Flüssigkeiten. Bei der aus Fig. 97 ersichtlichen Anordnung fülle man die Flasche ganz mit Wasser, den Trichter mit Quecksilber. In welcher Beziehung stehen Steighöhe und Druckhöhe, beide gemessen vom unteren Quecksilberspiegel?

74. Parabelform eines Wasserstrahls. Ausflußgeschwindigkeit. Man führe durch den Tubus einer Mariotteschen Flasche eine kurze Röhre, die sich nahe dem äußeren Ende ziemlich schnell verjüngt und einen am Schleifstein recht gerade abgeschliffenen Ausflußrand besitzt.

Durch möglichst scharfe Beleuchtung mittels einer kleinen, aber starken Lichtquelle, z. B. einer Nernstlampe, werfe man den Schatten des Wasserstrahles auf ein mit Koordinatenpapier versehenes Zeichenbrett, das man so nahe hinter den Strahl hält, daß man die Schatten nachzeichnen kann. Man ändere die Druckhöhe in der Flasche und untersuche an den Zeichnungen der Parabelformen die Abhängigkeit der Ausflußgeschwindigkeiten (27) von den Quadratwurzeln aus den Druckhöhen.

75. Die Sanduhr. Durch den Hals einer mit sehr feinem Sand gefüllten Flasche führe man eine kurze Glasröhre mit ausgezogener Spitze. Die Flasche befestige man im Stativ mit der Öffnung nach unten (Fig. 98). Mit Hilfe eines Maßzylinders messe man für verschiedene Druckhöhen die Mengen des in einer Minute ausgeflossenen Sandes. Bestätigt sich auch für den Sand das für Flüssigkeiten aufgestellte Gesetz: Die Ausflußgeschwindigkeiten verhalten sich wie die Quadratwurzeln aus den Druckhöhen?

Man wiederhole die Versuche, nachdem man den Boden der Flasche abgesprengt hat.

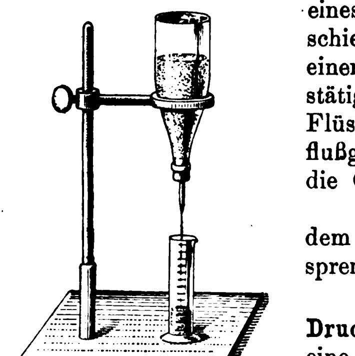


Fig. 98.

76. Gleiche Fortpflanzung des Druckes nach allen Richtungen. An eine Glaskugel schmelze man an verschiedenen Stellen kurze, enge Glasröhren. Man befestige die Kugel in einem Stativ und

verbinde sie mit der Wasserleitung. Für jede Ausflußröhre bestimme man die Ausflußgeschwindigkeit, indem man die für gleiche Zeiten gemessenen Ausflußmengen mit dem Querschnitt der betreffenden Öffnung dividiert oder indem man nach der in Nr. 74 gebrauchten Methode die Parabeln aufzeichnet. Man vergleiche die einzelnen Reultate.

77. Ausfließen durch eine Öffnung in dünner Wand. 1. In den Boden einer Weißblechdose bohre man ein etwa 5 mm weites Loch (Fig. 99). Oberhalb der Öffnung löte man zur Vermeidung von Wirbelbewegung eine kleine Zinkplatte rechtwinklig zum Boden. Eine andere, zweimal rechtwinklig gebogene Zinkplatte stelle man als Tischchen über die Öffnung, so daß auf diesem der aus einem mit der Wasserleitung verbundenen Kautschukschlauch kommende Wasserstrahl zerspritzen kann. Den Zufluß des Wassers reguliere man derart, daß sich die Wasserfläche in gleicher Höhe hält.

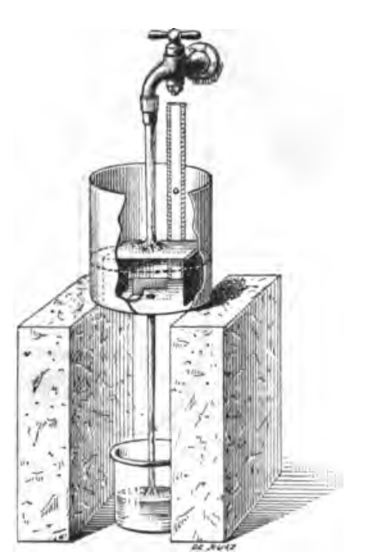


Fig. 99.

Man messe die Zusammenziehung des Wasserstrahles etwa 1 cm unterhalb der Öffnung direkt mit der Schublehre und berechne sie aus dem Vergleich der wirklich gefundenen Ausflußmenge mit der theoretischen, welche man erhält, wenn man den Querschnitt der Öffnung mit der nach der Formel $v = \sqrt{2\,g\,h}$ bestimmten Ausflußgeschwindigkeit multipliziert.

2. Man schichte in ein zylindrisches Gefäß, mit einer Öffnung im Boden, Pech in dünnen (1 cm) Schichten, indem man zwischen je 2 Schichten feinen Sand, Mehl oder dergl. streut. Dann stelle man das Gefäß auf 2 ungefähr $^1/_2$ m hohe Klötze, so daß die Öffnung frei ist, und überlasse es längere Zeit sich selbst. Hat der langsam hervorquellende Strahl die Länge von 20 bis 30 cm erreicht, so schneide man ihn in dünne Scheiben, die man der Reihe nach nebeneinander hinlegt, und zähle die Ringe in den einzelnen Scheiben. Das noch im Gefäß befindliche Pech schneide man in vertikale Scheiben und beachte den Verlauf der Streifen, namentlich in dem durch die Mitte der Bodenöffnung gehenden Schnitt. Auf Grund dieser Beobachtungen suche man sich ein Bild von der Zusammenziehung des Wasserstrahles zu machen.

Während der Raum, in welchem man das Gefäß zur Bildung des Strahles aufstellt, mäßig warm sein muß, nimmt man das Schneiden vorteilhaft in einem recht kalten Raum vor.

Zur Beschleunigung der Bewegung kann man in das Gefäß auf das Pech einen Deckel legen und diesen mit einem großen Gewicht

beschweren. Man muß aber dann dafür sorgen, daß der Deckel an die Wandung anschließt, damit das Pech nicht hervorquillt.

78. Die Ausflußgeschwindigkeit verschiedener Flüssigkeiten. Man lasse aus zwei gleichgroßen Trichterröhren mit ausgezogenen Spitzen von gleichem Querschnitt gleiche Volumina Wasser bezw. Quecksilber ausfließen, wobei man durch ein senkrecht in die Trichter gehaltenes Kartenblatt die Wirbelbewegung vermeidet. Welchen Einfluß hat das spezifische Gewicht der Flüssigkeiten auf die Ausflußgeschwindigkeit?

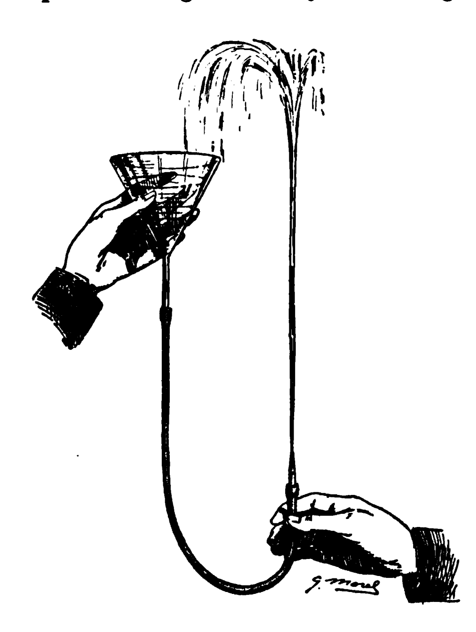


Fig. 100.

79. Hydraulischer Widder. Man verbinde einen Trichter durch einen langen Kautschukschlauch mit einer kurzen, mit ausgezogener Spitze versehenen Glasröhre (*Fig. 100*). Zuerst fülle man Trichter nebst Schlauch mit Wasser und beobachte die Steighöhe des aus der Glasröhre vertikal aufsteigenden Wasserstrahles. Welchen Einfluß haben Reibung, Luftwiderstand und die zurückfallenden Tropfen? Dann fülle man den Trichter von neuem, indem man den Schlauch unterhalb der kurzen Glasröhre zudrückt, so daß der Schlauch mit Luft gefüllt bleibt, hebe den Druck plötzlich auf und beobachte wieder die Steighöhe. Wodurch ist die Geschwindigkeit des aufsteigenden Strahles vergrößert worden?

80. Reibung von Flüssigkeiten. Ausfließen durch Röhren. Durch den Seitentubus einer Mariotteschen Flasche (65) führe man eine kurze Glasröhre, um mit Hilfe eines kurzen Kautschukschlauches die zu benutzenden Röhren beliebig schräg stellen zu können (Fig. 101).

Man stelle die 1 m lange und 2 mm weite Röhre mit ihrer Öffnung in gleiche Höhe mit dem unteren Ende der durch den Hals der Mariotteschen Flasche gehenden Röhre, so daß also das Wasser gerade bis an das Ende tritt, ohne daß ein Tropfen hervorquillt, und messe die Höhe über dem Boden. Dann die Röhre allmählich senkend, messe man jedesmal wieder diese Höhe, um aus der Differenz gegen die erste Messung die Druckhöhe ableiten zu können. Für jede Höhe bestimme man die Ausflußmenge in gleichen Zeiten

und untersuche die Beziehung zwischen Ausflußmengen und Druckhöhen.

Man verkürze die Röhre erst auf 50 cm, dann auf 25 cm und zuletzt auf 5 cm. Für jede dieser Röhren bestimme man bei gleicher Druckhöhe die in einer bestimmten Zeit gefundene Ausflußmenge. Man berechne den Unterschied dieser Ausflußmenge und der theoretischen (77) und zeichne die Kurve, welche diesen Unterschied als Funktion der Röhrenlänge darstellt.

Um den Einfluß der Temperatur der Flüssigkeit auf die Reibung in der Röhre kennen zu lernen, fülle man die Flasche für einen Versuch mit Wasser von Zimmertemperatur, für den zweiten mit

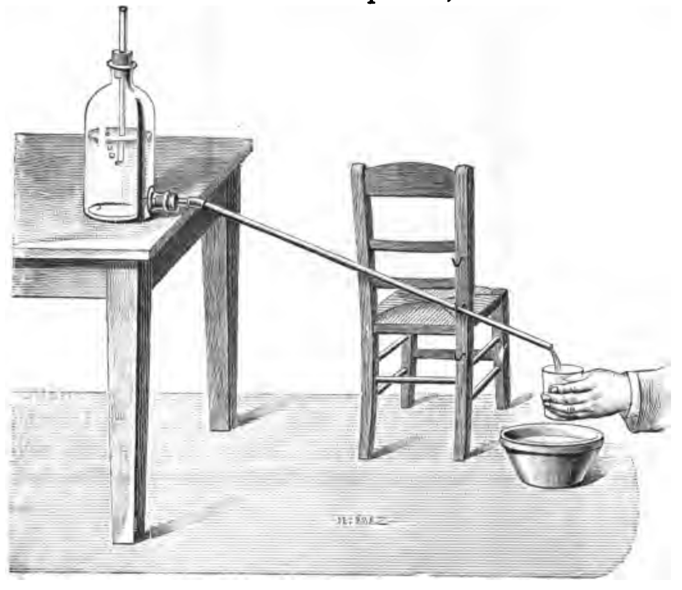


Fig. 101.

heißem Wasser und stelle mit Hilfe eines doppelt durchbohrten Stöpsels ein Thermometer in die Mariottesche Flasche. Die Wärmeabgabe an die Umgebung verhindere man durch Umwicklung der Flasche mit Tuch oder Filz. Man vergleiche die für dieselbe Druckhöhe wirklich gefundenen Ausflußmengen.

Man lasse durch dieselbe Röhre nacheinander bei gleicher Druckhöhe Alkohol, Wasser und Speiseöl fließen und vergleiche die gefundenen Ausflußmengen.

Dämpfung von Schwingungen. An das eine Ende eines kurzen Metallstabes löte man eine kreisförmige Zinkplatte, an das andere Ende einen Stahldraht, dessen freies Ende wiederum in die Mitte eines Metallstabes gelötet ist, um das Ganze unterhalb einer mit einem Einschnitt versehenen Tischplatte aufhängen zu können (Fig. 102). Die Zinkplatte lasse man in eine Kristallisierschale hängen, auf deren

äußeren Rand man einen Papierstreifen mit mm-Teilung aufgeklebt hat. Als Zeiger für die Drehung der Zinkplatte diene ein am unteren Metallstab angelöteter Draht, dessen über den Rand der Schale hinaus umgebogene Spitze auf die mm-Teilung zeigt.

Man stelle den Zeiger auf den Nullpunkt der Skala ein, lasse die Zinkplatte in Luft, Wasser und Öl schwingen und lese die nach

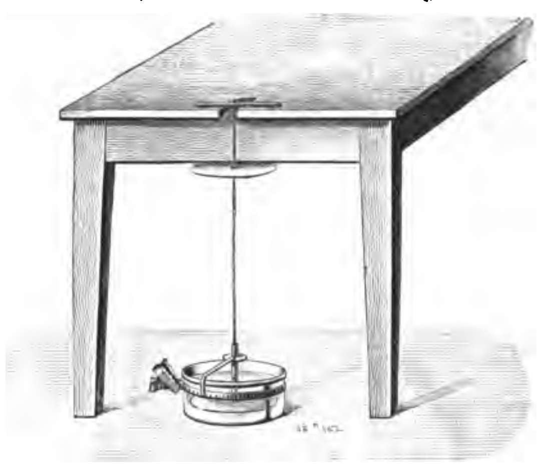


Fig. 102.

derselben Seite erfolgenden Ausschläge ab. Diese Ausschläge müssen eine geometrische Reihe bilden. Man vergleiche ihre Quotienten.

81. Hydraulisches Mikrophon. Einen Wasserstrahl richte man so gegen ein eingespanntes Blatt Papier oder die Membran einer

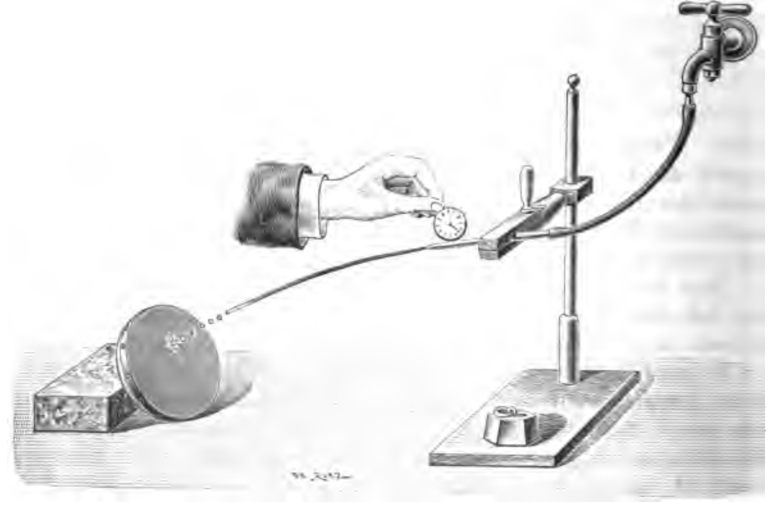


Fig. 103.

Trommel, daß der Strahl gerade mit der Stelle aufstößt, wo die Tropfenbildung beginnt (Fig. 103). Hält man an die Glasröhre eine Taschenuhr oder den Resonanzkasten einer schwingenden Stimmgabel, so tritt eine Verstärkung des Tones ein.

82. Oberflächenspannung bei der Tropfenbildung. Man lasse

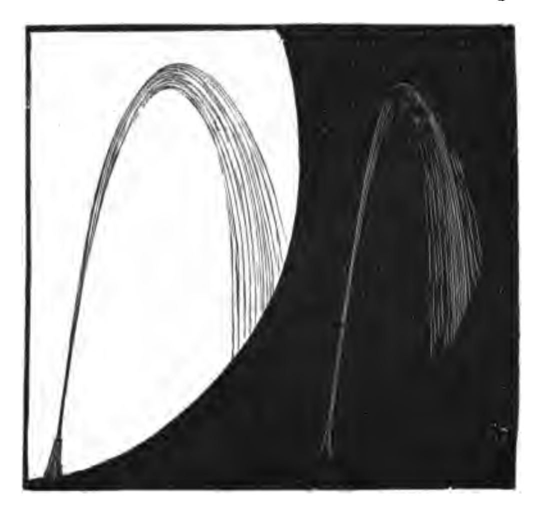


Fig. 104.

aus einer mit der Wasserleitung verbundenen Glasröhre mit ausgezogener Spitze einen Wasserstrahl nahezu vertikal emporsteigen

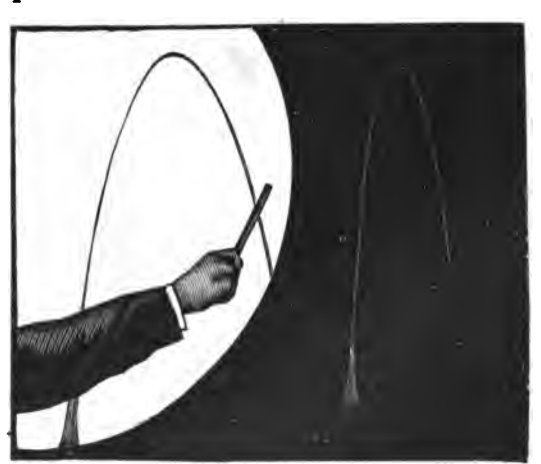


Fig. 105.

(Fig. 104) und beobachte auf dem Projektionsschirm das Zersplittern des herabfallenden Strahles. Dann nähere man dem Strahl einen

geriebenen Hartgummistab (Fig. 105) oder lasse den Strahl durch die stark rußende Flamme eines mit Benzin oder Terpentin getränkten Wattebausches gehen oder bringe Äther auf den Strahl. Die zahlreichen kleinen Tropfen werden sich infolge verminderter Oberflächenspannung wieder zu größeren vereinigen; der Strahl wird also länger zusammenhängend bleiben.

Kommt man mit einem stark elektrischen Hartgummistab zu nahe, so überwiegt die Abstoßung der Elektrizität, und der Strahl zerstäubt wieder.

83. Stroboskopische Beobachtung des Wasserstrahles. Man setze eine mit mehreren Lochreihen versehene Sirenenscheibe, welche auf der dem Beobachter zugekehrten Seite geschwärzt ist, auf die Achse eines kleinen Motors (Fig. 106) und reguliere die Geschwindigkeit derart, daß irgend eine Lochreihe beim Anblasen denselben Ton gibt wie eine Stimmgabel. Den Wasserstrahl lasse man aus einer mit einer Mariotteschen Flasche verbundenen rechtwinklig gebogenen Glasröhre mit ausgezogener Spitze senkrecht herabfallen, unter einer Druckhöhe, bei welcher der zusammenhängende Strahl etwa 20 cm lang ist. Resonanzkasten der Stimmgabel und Glasröhre verbinde man durch ein Lineal. Beobachtet man, wenn die Stimmgabel tönt, den Strahl durch die abgestimmte Lochreihe, so wird er unbeweglich erscheinen, so daß man das Vorhandensein kleinerer Tröpfchen zwischen den größeren und das Zittern der Tropfen feststellen kann.

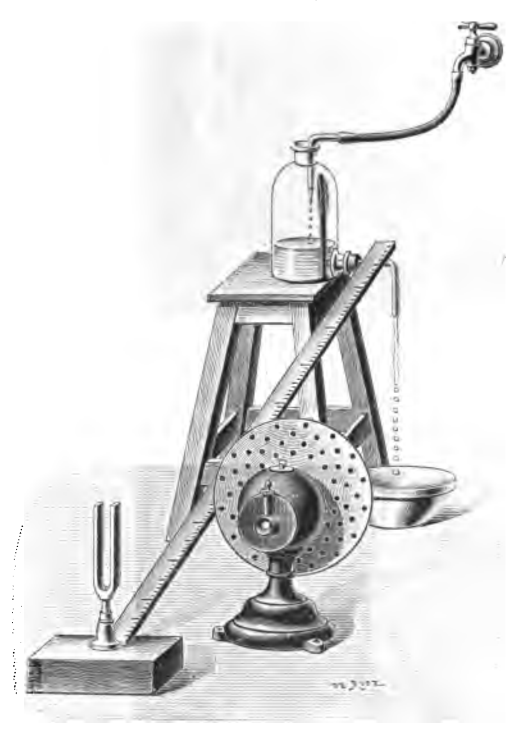


Fig. 106.

Will man einen senkrecht aufsteigenden Wasserstrahl in gleicher Weise beobachten, so muß man die passende Druckhöhe suchen, für welche die Zerlegung des Strahles gelingt.

Man kann dieselbe Erscheinung für den herabfallenden wie für den aufsteigenden Strahl auch beobachten, wenn man nicht die Be-

wegung einer Stimmgabel, sondern die des Unterbrechers eines kleinen Funkeninduktors auf die Glasröhre überträgt und den Strahl durch eine mit diesem Apparat verbundene Geißlersche Röhre beleuchtet.

---

84. Oberflächenspannung. Ein weites Gefäß fülle man mit Wasser, bis dieses rings um den Rand überläuft. Dann streue man zwischen den Fingern zerriebenes Kampherpulver auf das Wasser und beobachte die infolge fortdauernd veränderter Oberflächenspannung des Wassers eintretende Bewegung der Kampherkörnchen. Wie ändert sich die Erscheinung, wenn man auf das Wasser einen Tropfen Öl träufelt?

Man beobachte die Bewegung eines kleinen Kork- oder Holzstückchens, an dessen Ende man mit Wachs ein Körnchen Kampher befestigt hat.

Einen mit den Enden zusammengeknüpften, sehr feinen Seidenfaden, den man, damit er auf Wasser schwimmen kann, mit Vaselin einfettet, lege man auf eine ganz reine Wasserfläche und beobachte, wie er in irgend einer Kurve geformt liegen bleibt. Bringt man dann einige Kampherkörnchen oder ein Terpentintröpfchen innerhalb der Kurve, so wird der Faden zu einem Kreise auseinandergezogen, da die Oberfläche des Wassers infolge ihrer Spannung ein Minimum der Fläche einzunehmen bestrebt ist, also die Fläche innerhalb des Fadens ein Maximum werden muß.

85. Oberflächenspannung an gekrümmten Oberflächen. Man biege ein engmaschiges Drahtnetz so um, daß man ein etwa 5 cm tiefes Gefäß erhält (Fig. 107), trockne es über einer Flamme, tauche

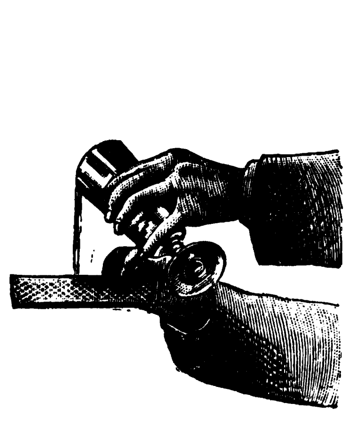




Fig. 107.

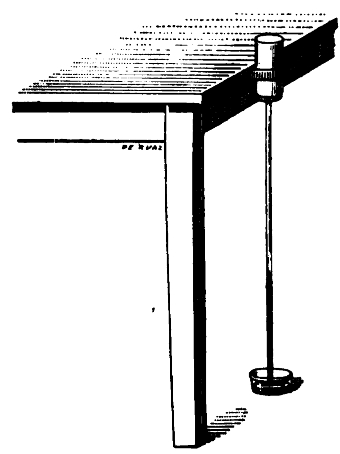


Fig. 108.

es dann in warmes Paraffin und lasse es abtropfen. Dies Gefäß schwimmt auf Wasser und kann infolge der zahlreichen, zwischen

den Maschen durch Oberflächenspannung entstehenden konvexen Wasseroberflächen Lasten von mehr als 20 gr tragen; man bringt es aber sofort zum Sinken, wenn man etwas Wasser, Terpentin oder Äther hineinträufelt.

Man kann die Erscheinung gleichsam umkehren, indem man in das in der Hand gehaltene Gefäß Wasser gießt. Man lege aber, um den Stoß des fallenden Wassers zu brechen, ein Blatt Papier hinein, das man nachher wieder herausnimmt.

Einen mit Wasser gefüllten kleinen Tonzylinder schließe man mit einem Korken, durch dessen Durchbohrung eine enge, etwa 80 cm lange Glasröhre geht; mit Wachs oder Siegellack dichte man sorgfältig ab. Dieses Gefäß befestige man, wie Fig. 108 zeigt, so, daß die Röhre in ein Gefäß mit Quecksilber taucht. Man beobachte, wie das Quecksilber infolge der durch die Poren des Tonzylinders stattfindenden Verdunstung allmählich steigt und sich schließlich fast in Barometerhöhe hält, da die in den Poren wirkende Oberflächenspannung des Wassers ein Eindringen der Luft verhindert.

86. Bewegung infolge von Kapillarwirkung. Das Gesetz, daß der nach der Innenseite der Krümmung gerichtete Oberflächendruck der Krümmung proportional ist, prüfe man an folgenden Versuchen:

Ein in ein konisches Glasröhrchen gebrachter Wassertropfen bewegt sich der Spitze, ein Quecksilbertropfen aber dem weiten Ende zu (Fig. 109).

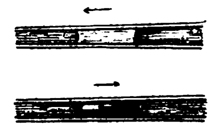


Fig. 109.

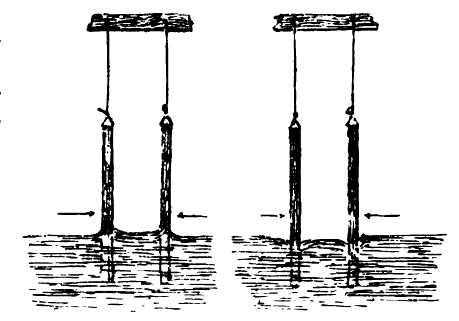


Fig. 110.

Zwei an Seidenfäden parallel aufgehängte Glasplatten nähern sich, gleichviel ob sie in Wasser oder in Quecksilber tauchen (Fig. 110).

87. Einfluß der Temperatur auf die Oberflächenspannung. In eine enge, etwa 50 cm lange Glasröhre bringe man eine 10 cm lange Wassersäule. Man halte die Röhre horizontal und beobachte, wie man durch Erwärmen des einen Meniskus die Wassersäule vom einen Ende der Röhre zum anderen treiben kann, aber nicht heraus.

88. Schwimmen spezifisch schwererer Körper auf Wasser. Man lege eine mit Vaselin eingefettete, magnetisch gemachte Nähnadel auf Wasser und benutze sie als Kompaß. — Man beobachte die Verschiedenheit in der Bewegung kleiner auf dem Wasser schwimmender Körper, je nachdem sie vom Wasser benetzt werden oder nicht. —

Man beachte die Anziehung oder Abstoßung der kleinen Gegenstände am Rande, je nachdem der Randwinkel positiv oder negativ ist, d. h. die Oberfläche des Wassers konkav oder konvex ist.

89. Zähigkeit der Oberfläche. In mit Sand bestreutes Quecksilber tauche man einen Glasstab und beobachte das Nachfolgen des Sandes. — Ebenso tauche man einen mit Vaselin eingefetteten Glasstab in mit Bärlappsamen bestreutes Wasser. — Man bewege einen Streifen Kartonpapier im Wasser senkrecht auf und ab. Wie verhalten sich einige auf dem Wasser liegende Öltropfen?

90. Messung der Oberflächenspannung. Methode des Tropfengewichtes. Man lege einen Heber, dessen kürzerer Arm einen scharfen Rand besitzt, über den Rand eines mit Wasser gefüllten Glases, sauge ihn an und lasse ihn unter einem so schwachen Druck fließen, daß Druckänderungen schon durch mehr oder weniger tiefes Eintauchen eines Glasstabes hervorgerufen werden können (Fig. 111). Man be-



Fig. 111.

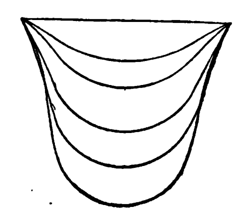


Fig. 112.

obachte die Entstehung und allmähliche Veränderung eines Tropfens (Fig. 112) bis zum Abreißen und zeichne die verschiedenen Formen auf.

Man fange etwa 100 solcher Tropfen auf und berechne aus dem Gesamtgewicht das Gewicht P eines einzelnen Tropfens. Da die Oberflächenspannung gleich dem Gewicht der Flüssigkeitsmenge ist, welches von der Längeneinheit der Berührungslinie einer vollkommen benetzten Wand getragen wird, so berechne man die Oberflächenspannung des Wassers aus dem Gewicht eines Tropfens und dem Umfang der Röhre, an dem er gehangen hat.

Man wiederhole die Versuche mit einem zweiten Heber von doppelter Weite und berechne wieder die Oberflächenspannung.

Man stelle das kleine Gefäß, in welchem man die Tropfen auffängt, in eine mit etwas Äther gefüllte Kristallisierschale und bestimme in derselben Weise die Oberflächenspannung von Wasser, auf welchem sich Äther kondensiert hat.

91. Nachahmung der Tropfenbildung. Man lege zwischen zwei Kinderspielreifen mit kaum merkbarer Spannung ein Kautschukblatt

und schraube die Reifen aneinander fest oder klemme sie durch Kohlenklemmen eines Bunsenelements zusammen. Das Ganze hänge man innerhalb eines dreifüßigen Gestells oder einer Doppelleiter auf (Fig. 113); zur Vorsicht stelle man einen Eimer darunter. Man gieße allmählich mehrere Liter Wasser in den sich bildenden Kautschukbeutel und beobachte die aufeinanderfolgenden Formen des Tropfens, bis die Form unbeständig wird und „fällt“, d. h. überhaupt nicht mehr die Form eines hängenden Tropfens besitzt. Um nicht eine andauernde Veränderung des Kautschuks zu erhalten, lasse man nach beendetem Versuch das Wasser mittels eines Saughebers schnell auslaufen.

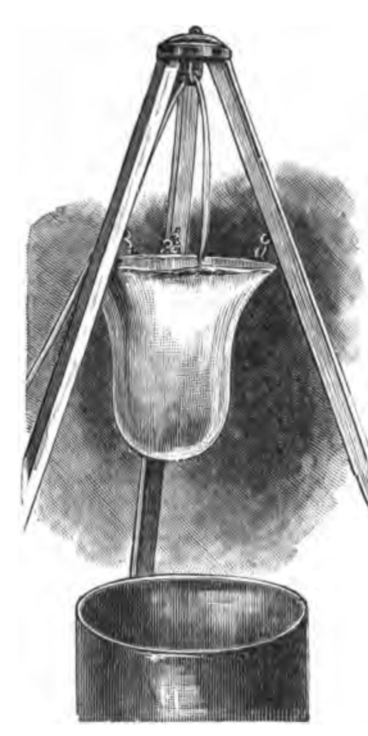


Fig. 113.

92. Messung der Oberflächenspannung. Kapillarröhren. Den Durchmesser der Kapillarröhren von 0,05 bis 0,5 cm innerem Durchmesser bestimme man an den weiteren mit einem mm-Maßstab, wobei man die Zehntelmillimeter schätzt, an den engeren — wenn kein Mikroskop mit Mikrometerokular zur Verfügung steht —, indem man einen Quecksilberfaden einsaugt, seine Länge und nachher sein Gewicht bestimmt und aus mehreren solcher Wägungen für dieselbe Röhre ihren Durchmesser berechnet.

In einen Teller, dessen Rand mit Vaselin eingefettet ist, gieße man soviel Wasser, daß eine konvexe Oberfläche entsteht. Vor das Gefäß stelle man eine Spiegelglasscheibe ohne Stanniolbelegung und vor diese Scheibe einen Maßstab so, daß man sein durch Reflexion entstandenes Bild neben der in der Flüssigkeit stehenden Kapillarröhre sieht (Fig. 114). Die in die Flüssigkeit gestellte Röhre neige man zuerst, um sie innen gut zu benetzen. Dann richte man sie auf, visiere, um die Steighöhe genau bestimmen zu können, über die konkave Oberfläche in ihr und über die freie Oberfläche des Wassers. Man berechne die in Nr. 90 definierte Oberflächenspannung, indem man berücksichtigt, daß an Stelle des Tropfens eine Wassersäule getragen wird. Bei Berechnung des Gewichtes dieser Wassersäule erinnere man sich, daß das spezifische Gewicht des Wassers gleich Eins ist.

Man wiederhole diesen Versuch für die verschieden weiten Röhren

und berechne jedesmal die Oberflächenspannung. In welcher Beziehung steht die Steighöhe zum Durchmesser?

Eine Ⅼ-förmig gebogene Röhre befestige man an einem mit mm-Teilung versehenen Brett (Fig. 115). In den kurzen Arm führe

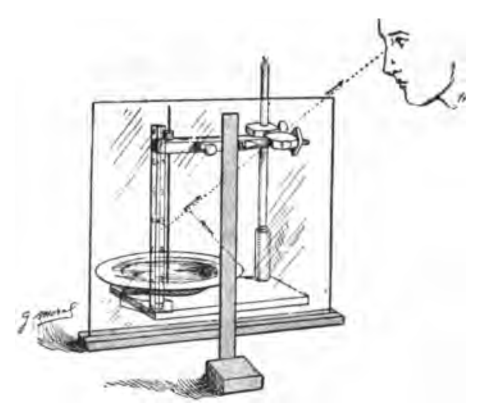


Fig. 114.

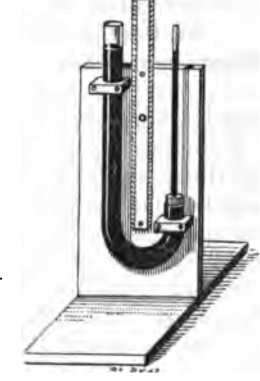


Fig. 115.

man durch einen Korkstöpsel die Kapillarröhre, in den längeren gieße man dann das Quecksilber. Man messe für verschiedene Kapillarröhren die Depression und berechne wieder die Oberflächenspannung. Die Höhe der Säule ist auch hier gleich dem Höhenunterschied der beiden Quecksilberoberflächen.

93. Kapillarität zwischen zwei Platten. Man seife zwei Platten aus einfachem oder Spiegelglas sorgfältig ab und spüle sie mit destilliertem Wasser sauber. Durch zwei Kautschukringe und eine Klemme halte man die Platten zusammen; längs des einen Randes lege man einen Glaskeil, so daß die Platten einen Flächenwinkel bilden (Fig. 116). Auf die Rückseite der zweiten Platte schiebe man unterhalb der Kautschukringe ein Blatt durchsichtiges Seidenpapier. Das Ganze stelle man auf einen Teller, dessen Rand mit Vaselin eingefettet ist und der eine konvexe Wasseroberfläche besitzt.

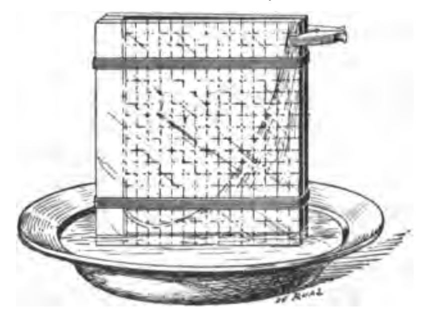


Fig. 116.

Man neige bei Beginn des Versuches die Platten, um sie gut zu benetzen, ziemlich stark, richte sie auf, und beobachte die Kurve des kapillaren Ansteigens. Man zeichne auf dem Seidenpapier sowohl die Kurve wie auch die Höhe der freien Wasseroberfläche und untersuche, ob die Kurve eine gleichseitige Hyperbel ist, deren

Asymptoten die Winkelkante der Platten und der Flüssigkeitsoberfläche sind, d. h. ob das Produkt aus den Längen der durch einen Punkt der Kurve zu den beiden Asymptoten gezogenen Parallelen für die verschiedenen Punkte der Kurve denselben Wert ergibt. In welchem Zusammenhang steht dieses Resultat mit der in der vorigen Nummer gefundenen Beziehung zwischen Steighöhe und Durchmesser?

94. Oberflächenspannung von Flüssigkeitsgemischen wechselnder Zusammensetzung. Man reinige eine Glastafel durch Waschen mit Seife oder Kalilauge recht sauber, so daß, wenn man sie schwach geneigt hinstellt, eine überall gleichmäßige dünne Wasserschicht auf ihr haftet. Auf diese Wasserschicht bringe man einen Tropfen Spiritus; es bildet sich eine Mischung von Wasser und Alkohol, welche eine geringere Oberflächenspannung hat als das reine Wasser, infolge dessen zieht die Oberflächenspannung der Stellen, an welche kein Spiritus durch Diffusion gelangt ist, das Wasser von den mit Alkohol betupften Stellen weg, und es bildet sich um diese Stelle herum ein dicker Wulst von Wasser. Auf der betupften Stelle ist die Dicke der Flüssigkeitsschicht geringer, als dort, wo noch das reine Wasser ist.

Benetzt man einen Glasstab mit Spiritus und zieht einen horizontalen Strich über die Platte, so steigt das Wasser bergan. Verfolgt man es bei dieser Bewegung durch wiederholtes Bestreichen der Glasplatte mit dem mit Spiritus benetzten Glasstab dicht unter dem Wulst, so kann man das Wasser ziemlich hoch hinauftreiben. Schließlich wird das Gewicht des im Wulst angehäuften Wassers zu groß, und es wird an irgend einer Stelle der mit Spiritus benetzte, scheinbar vom Wasser gemiedene Streifen der Glasplatte von einem Wassertropfen durchbrochen, welcher wie eine Träne herunterläuft.

Taucht man in eine stark alkoholische Lösung (starker Wein) eine saubere Glasplatte und hebt sie wieder etwas heraus, so daß ein benetzter Streifen entsteht, so wird der Alkohol schneller verdunsten als das Wasser und in den der Flüssigkeit benachbarten Stellen des Streifens von dieser aus wieder Alkohol hineindiffundieren, so daß der Streifen unten alkoholhaltiger ist als oben. Oben ist demnach die Oberflächenspannung größer als unten, und man erhält hier dieselbe Erscheinung des „Tränens des Weines" wie oben. Es genügt schon, durch schwaches Schütteln des Weinglases den Rand zu benetzen.

95. Wirkung der Oberflächenspannung an der gemeinsamen Grenze zweier Flüssigkeiten von gleichem spezifischen Gewicht. In ein Gemisch von Wasser und Alkohol von demselben spezifischen Gewicht wie Olivenöl bringe man mit Hilfe einer Pipette, deren Spitze etwas in das Gemisch taucht, vorsichtig das Öl hinein; infolge der gleichen spezifischen Gewichte dem Einfluß der Schwere entzogen, nimmt das Öl Kugelgestalt an (84).

Ein wie vorher bereitetes Gemisch von Wasser und Alkohol gieße man zur Hälfte in ein größeres Gefäß. Zu der anderen Hälfte

gieße man ein wenig Wasser hinzu, um dem neuen Gemisch ein etwas größeres spezifisches Gewicht als dem Olivenöl zu geben, und bringe dann dieses Gemisch mit Hilfe einer Trichterröhre vorsichtig an den Boden des anderen Gefäßes. An der Grenze der beiden verschieden dichten Flüssigkeiten bilde man mit Hilfe einer Pipette einen Öltropfen; einzelne zerstreut liegende Tröpfchen sammle man mittels eines an einem Stiel befestigten kleinen Ringes aus Kupferdraht, den man mit Öl eingefettet hat. Man nehme die Ölkugel zwischen zwei vertikal gehaltene Ringe (Fig. 117) und beobachte die verschiedenen Formen des Öltropfens, wenn man die Ringe auseinanderzieht.



Fig. 117.

Man erleichtert sich diese Beobachtung, wenn man dafür sorgt, daß man stets eine Rotationsfläche erhält, indem man die Ringe einander parallel und senkrecht zur Verbindungslinie ihrer Mittelpunkte hält. Bei kleinen Tropfen kann man es erreichen, daß die Flächen in den Ringen Ebenen sind. In welcher Beziehung steht dann der Radius der engsten Stelle des Tropfens zum Krümmungsradius der beide Ringe miteinander verbindenden Kurve an der Stelle der tiefsten Einschnürung? Bei größeren Tropfen interessiert namentlich der Fall, daß zwischen beiden Ringen ein Zylinder entsteht. In welcher Beziehung steht alsdann der Radius der beiden Kugelkalotten in den Ringen zum Radius des Zylinders?

96. Ölblasen. Man bringe einige Öltropfen auf die Flüssigkeit, so daß sich auf ihr eine Ölmembran bildet. Durch diese hindurch (Fig. 118) tauche man den mit Öl gefetteten Kupferring in das Wasser. Wenn am Ring eine kugelförmige Membran entstanden ist, ziehe man ihn plötzlich seitwärts fort. Dann schließt sich die Membran zu einer Kugel, die nun im Innern Wasser enthält, ähnlich einer Seifenblase.



Fig. 118.

97. Seifenlösung. Man sättige 80-prozentigen Alkohol (spez. Gew. 0,865) mit trockenen Seifestückchen (74,2 g auf 1 Liter), bringe 25 ccm dieser Lösung auf 100 ccm eines zu gleichen Raumteilen hergestellten Gemisches von Wasser und Glyzerin, treibe dann den Alkohol durch längeres Sieden aus, ergänze durch Wasser wieder auf 100 ccm und filtriere durch Baumwolle.

Sehr einfach erhält man auch eine Seifenlösung, wenn man 10 g Seife und 400 g weißen Zucker in 1 Liter Wasser löst.

Beide Lösungen gehen sehr leicht in Gärung über. Sie halten sich besser nach Zusatz einiger Tropfen Formalin.

98. Oberflächenspannung an dünnen Häuten. Ein sehr dünnes Häutchen von Seifenwasser bilde man in einem Ring von frisch ausgeglühtem Kupferdraht.

Dies Häutchen vermag kleine Schrotkörnchen zu tragen. Größere Körnchen durchbrechen das Häutchen; es schließt sich aber sofort wieder.

Auf das Häutchen lege man einen an den Enden zusammengeknoteten Faden aus sehr feiner Seide, der mit Seifenwasser befeuchtet ist (Fig. 119). Man durchbohre das Häutchen im Innern





Fig. 119.



Fig. 120.

des Seidenfadens mittels eines Stückchens Fließpapier; der Fadenring nimmt kreisrunde Gestalt an (84).

Den Versuch führe man auch so aus, daß man quer über den Ring einen schlaffen Faden befestigt; derselbe spannt sich als Kreisbogen, wenn man das Häutchen durchsticht (Fig. 120.)

99. Messung der Oberflächenspannung. Man biege sehr feinen Draht in ⊓-Form (Fig. 121) und hänge ihn an eine empfindliche Wage. Man tauche den Bügel vollständig in Seifenlösung und lasse durch Senken des Tellers sich ein Häutchen bilden; aus der zur Herstellung des Gleichgewichtes der Wage nötigen Gewichtszunahme und der Länge der Berührungslinie der Lamelle mit der Lösung berechne man die Oberflächenspannung der Seifenlösung nach Nr. 90 indem man beachtet, daß hier das von der Oberflächenspannung getragene Gewicht direkt durch die Wage gegeben ist.

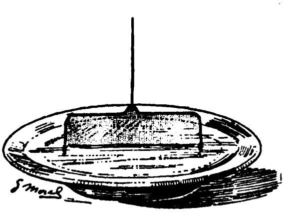


Fig. 121.

100. Verschiedene Formen dünner Häutchen. Man tauche ein aus sechs gleichlangen Stücken von Kupferdraht hergestelltes Tetraeder an einem Stiel in Seifenwasser (Fig. 122). Zieht man das

Gestell langsam heraus, so bilden sich 6 Häutchen, die nach dem Mittelpunkte s zusammenlaufen und sich je an eine der sechs Tetraederkanten anlehnen.

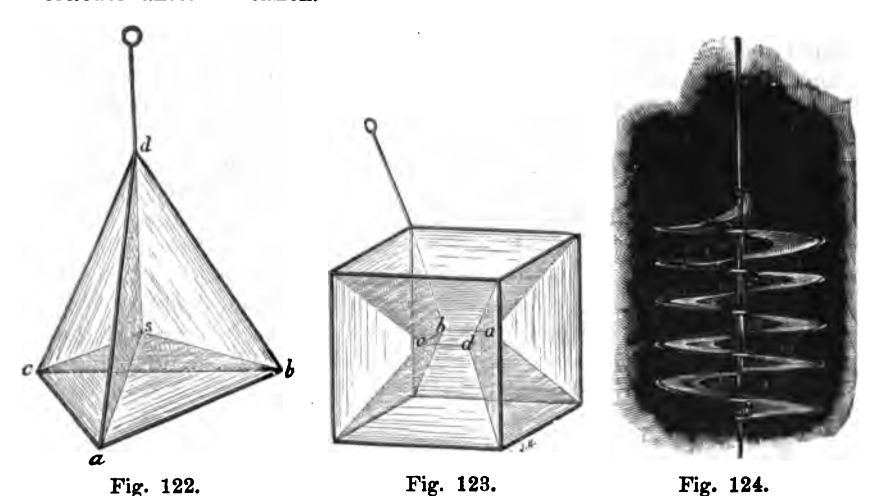


Fig. 122. Fig. 123. Fig. 124.

Ebenso verfahre man mit einem aus Kupferdrähten hergestellten Würfel (Fig. 123), Oktaeder oder Schraubenlinie mit Achse (Fig. 124).

101. Druck in Seifenblasen. In den Seitentubus einer Flasche führe man eine ein wenig aufwärts gerichtete Röhre, längs welcher

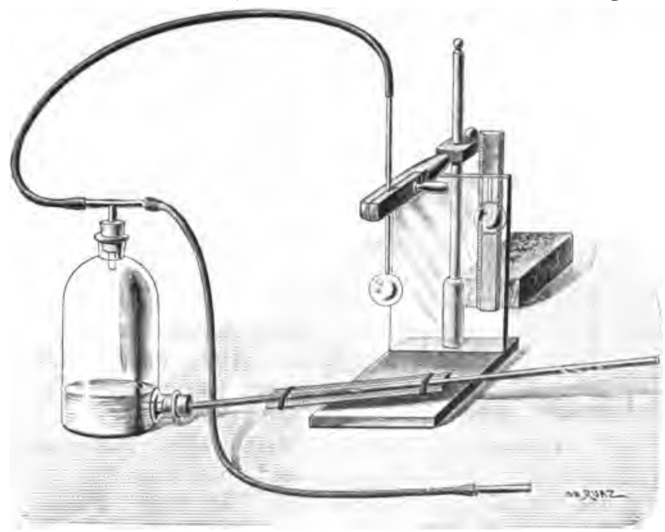


Fig. 125.

man durch Kautschukringe ein Lineal mit Maßstab befestigt hat (Fig. 125). In die Flasche gieße man soviel Wasser, daß die Röhre

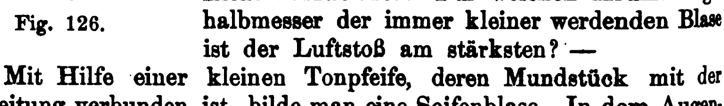
auf etwa ein Viertel ihrer Länge mit Wasser gefüllt ist. Durch den Hals der Flasche führe man ein T-Stück mit zwei Kautschukschläuchen, von denen der eine eine lange, der andere eine kurze Glasröhre besitzt.

Man tauche die lange Röhre in Seifenwasser, so daß in ihr ein Tröpfchen hängen bleibt. Dann halte man diese Röhre horizontal und blase vorsichtig durch die andere Röhre, bis der äußere der beiden Menisken des ans Ende der Röhre kommenden Tröpfchens eben wird. Der in der liegenden Röhre gemessene Druck P gibt dann den vom inneren Ende herrührenden Druck an, mit welchem der Tropfen in das Innere der Röhre hineingezogen wird.

Man blase den Tropfen zu einer immer größeren Kugel aus und bestimme wieder P für die verschiedenen Krümmungshalbmesser R. Da die Krümmung umgekehrt proportional dem Radius ist, so kann man die Beziehung zwischen Druck P und Krümmung $1/R$ feststellen. —

Man suche durch eine am Rande eines Trichters (Fig. 126) hängende Seifenblase ein Licht auszublasen. Für welchen Krümmungshalbmesser der immer kleiner werdenden Blase ist der Luftstoß am stärksten? —

Fig. 126.



Mit Hilfe einer kleinen Tonpfeife, deren Mundstück mit der Gasleitung verbunden ist, bilde man eine Seifenblase. In dem Augenblick, da die Kugel sich ablösen will, schätze man den Radius des größten Kreises der Kugel und messe den der Pfeifenöffnung. Mit Hilfe der in Nr. 99 gefundenen Oberflächenspannung der Seifenlösung berechne man das spezifische Gewicht des Leuchtgases, indem man bei Aufstellung des Ausdruckes für das Gewicht des Gastropfens das Gewicht der verdrängten Luft berücksichtigt.

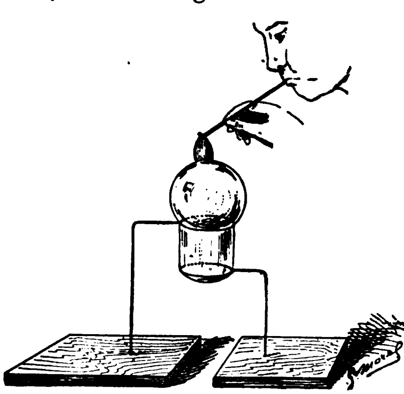


Fig. 127.

102. Formveränderungen einer Seifenblase. Man biege den Stiel eines etwa 5 cm weiten Metallringes rechtwinklig um und befestige ihn auf einem Brett so, daß der Ring wagerecht steht (Fig. 127). Einem zweiten, ebenso befestigten Ringe gebe man einen längeren Stiel, so daß dieser Ring über den anderen gestellt werden kann.

Auf den unteren, mit Seifenwasser angefeuchteten Ring blase man mit Hilfe einer Tonpfeife eine Seifenblase. Um feststellen zu

können, daß die Blase eine Kugel ist, bestimme man ihren Durchmesser in verschiedenen Richtungen.

Dann bringe man den oberen, gleichfalls angefeuchteten Ring auf die Seifenblase, ziehe sie allmählich nach oben aus und durchsteche die innerhalb des oberen Ringes befindliche Kalotte. Die im unteren Ring befindliche Membran nimmt ebene Gestalt, der zwischen beiden Ringen befindliche Teil die einer Rotationsfläche mit nach außen konkaver Krümmung an. Man messe in einer parallel zu beiden Ringen durch die Mitte gelegten Ebene für irgend einen Punkt der Oberfläche den Krümmungsradius und ebenso in einer durch denselben Punkt senkrecht zur ersten gelegten Ebene und vergleiche beide Radien.

Man wiederhole den Versuch, ohne die obere Membran zu durchstechen und ziehe die Blase so weit aus, bis der zwischen beiden Ringen liegende Teil zylindrische Form angenommen hat. Wie groß ist jetzt der in einer zu beiden Ringen senkrechten Ebene zu messende Krümmungsradius geworden? Die innerhalb jedes Ringes befindliche Membran hat kugelförmige Gestalt angenommen. Man bestimme ihren Krümmungsradius und vergleiche ihn mit dem einen des Zylinders (95).

Aus allen diesen Versuchen suche man das Gesetz zu bestätigen, daß für jeden Punkt der freien Oberfläche die Summe der reziproken Werte der Krümmungshalbmesser in zwei zueinander senkrechten Ebenen konstant sein muß.

---

103. Das Osmometer. Man führe eine enge Glasröhre durch den Hals einer Flasche, deren Boden man entfernt und durch eine Tierblase ersetzt hat. Diese Flasche stelle man so in ein weites Gefäß, daß die Röhre durch den gut schließenden Korkstöpsel geht und die Flasche nicht den Boden berührt.

Man fülle das Gefäß mit Wasser, die Flasche und einen Teil der Röhre mit einer konzentrierten Kupfervitriollösung und beobachte die Flüssigkeitssäule in der Röhre.

104. Halbdurchlässige Membranen. Man stelle eine sehr verdünnte Lösung von Kupfervitriol (1 : 500) und eine Lösung von gelbem Blutlaugensalz von nahezu derselben Konzentration her. Die eine der beiden Lösungen verdünne man so lange, bis es gelingt, einen Tropfen der ersten Lösung in der zweiten schwebend zu erhalten. Wenn dies gelungen ist, beobachte man die Änderung des schwebenden Tropfens, der sich mit einer Haut von Kupferferrocyanür umgeben hat.

In einen Wasserbehälter von 1 Liter Inhalt bringe man eine fast gesättigte Lösung von Kupfervitriol und werfe in die Flüssigkeit einen Kristall von gelbem Blutlaugensalz. Der Kristall umgibt sich mit einer Membran. Da sie halbdurchlässig ist, dringt das Wasser hinein, dehnt sie aus, und nach einiger Zeit bilden sich membranöse Röhren, welche sich immer mehr entwickeln und bis an die Oberfläche steigen.

IV. Mechanik der gasförmigen Körper.

105. Das Mariottesche (Boylesche) Gesetz. An einem vertikal gestellten Brett (Fig. 128) befestige man mittels zusammengedrehter Drahtschlingen eine 50 cm lange Glasröhre nebst 75 cm langem Kautschukschlauch und kurzer Trichterröhre; die Verbindungen mache man dadurch sicher und dicht, daß man mit dünnem Kupferdraht abbindet. Um den Trichter lege man eine Schlinge, mit deren Hilfe man ihn an verschieden hoch befestigten Haken aufhängen kann. Den ganzen Apparat stelle man, um verschüttetes Quecksilber aufzufangen, auf eine Unterlage von Eisenblech mit hochgebogenen Kanten.

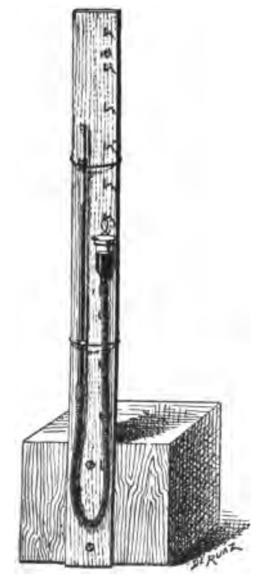


Fig. 128.

Man fülle mit Quecksilber, indem man den Trichter in gleiche Höhe mit dem offenen Ende der Glasröhre stellt. Dann lasse man ihn soweit herunter, daß in der Glasröhre eine Luftsäule von 15—20 cm bleibt, und schließe die Röhre durch einen kleinen Korkstöpsel, den man in Paraffin getaucht hat und einsetzt, während er noch von geschmolzenem Paraffin bedeckt ist. Nachdem Temperaturausgleich eingetreten ist, bringe man beide Quecksilberoberflächen auf gleiche Höhe, messe die Länge v_0 der Luftsäule und lese am Barometer den Luftdruck p_0 ab. Dann bestimme man für verschiedene Höhen des Trichters die zueinandergehörigen Werte der Länge v der abgeschlossenen Luftsäule und des Druckes p, indem man den herrschenden Luftdruck p_0 um die Niveaudifferenz des Quecksilbers in beiden Schenkeln vermehrt oder vermindert, je nachdem das Niveau in der Trichterröhre über oder unter dem Niveau in der Glasröhre steht. Man bilde die Produkte der zueinandergehörigen Werte von Druck und Volumen und vergleiche die Resultate. Man wiederhole eine Versuchsreihe für eine andere abgeschlossene Luftmenge.

Eine andere Versuchsanordnung erhält man in folgender Weise. Man bringe in eine oben sauber zugeschmolzene Glasröhre einen 20

bis 40 cm langen Quecksilberfaden, welcher eine 8 bis 10 cm lange Luftsäule abschließt. Dann befestige man die Röhre auf einem mit mm-Teilung versehenen Brett (Fig. 129), halte es unter verschiedenen Neigungswinkeln und bestimme die zugehörigen Werte des Volumens der Luftsäule und des Druckes, indem man den herrschenden Luftdruck um den aus dem spezifischen Gewicht des Quecksilbers, der Länge des Fadens und dem Neigungswinkel berechneten Druck vermehrt oder vermindert, je nachdem sich das offene oder das verschlossene Ende der Röhre oben befindet.

Man wiederhole den Versuch, wenn die Röhre mit Leuchtgas, Kohlensäure oder Wasserstoff gefüllt ist. Man lasse einen kräftigen Gasstrom durch die auf beiden Seiten noch offene Röhre gehen und schmelze dann schnell das eine Ende zu, oder man schiebe in die schon auf einer Seite zugeschmolzene Röhre eine engere, durch welche man das Gas einführt. Diese darf man nur herausziehen, während noch fortwährend Gas nachströmt.

Beim Füllen achte man auf die spezifischen Gewichte der Gase, damit das vorher in der Röhre gewesene auch wirklich verdrängt wird.

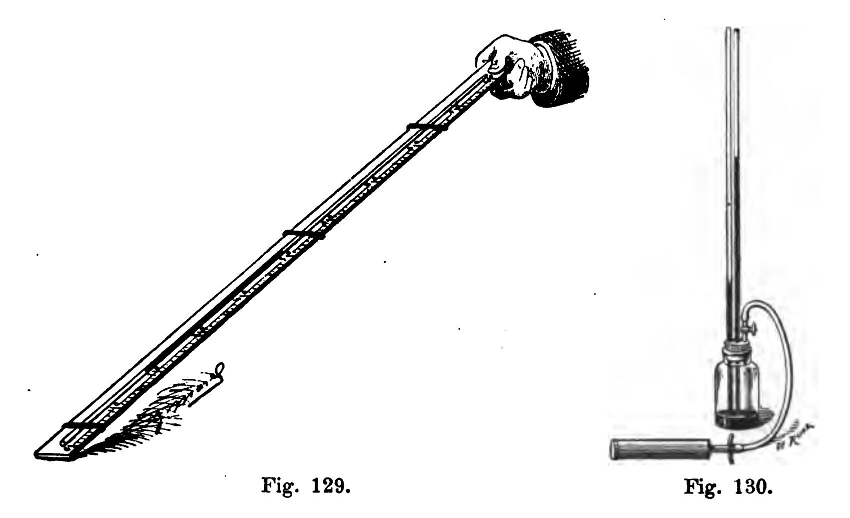


Fig. 129. Fig. 130.

Man wird also z. B. beim Füllen mit Wasserstoff das geschlossene Ende nach oben halten. Damit das zu untersuchende Gas gut trocken sei, leite man es durch eine mit Chlorcalcium gefüllte Röhre.

Auch folgende Anordnung kann zur Prüfung des Gesetzes dienen. Man führe durch den Hals einer mit etwas Quecksilber gefüllten Flasche mit Hilfe eines dreifach durchbohrten Korkstöpsels einen Glashahn und zwei bis in das Quecksilber reichende, 1 m lange Röhren, von denen die eine oben offen, die andere geschlossen ist (Fig. 130). Mit der Röhre des Glashahnes verbinde man eine Kompressions-Pumpe. Man verdichte die Luft und messe die

Quecksilbersäulen in beiden Röhren. Unter welchem Druck steht die in der verschlossenen Röhre zusammengepreßte Luft?

106. Herstellung eines Barometers. Durch den Hals einer tubulierten, mit etwas Quecksilber gefüllten Flasche führe man eine mit ausgezogener Spitze versehene, 1 m lange Glasröhre, die man über einer Flamme getrocknet hat; den Tubus der Flasche setze man mit einer Kompressionspumpe in Verbindung (Fig. 131). Man verdichte die Luft in der Flasche, bis das Quecksilber etwa 60 cm hoch steigt, neige die Röhre, so daß sie bis zur Spitze gefüllt wird, schmelze sie über einem Bunsenbrenner zu und öffne den Tubus.

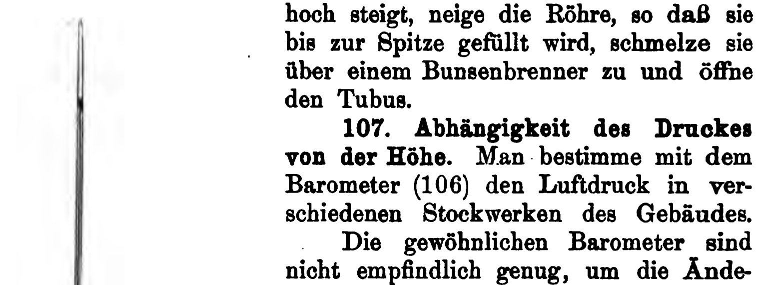




Fig. 131.

107. Abhängigkeit des Druckes von der Höhe. Man bestimme mit dem Barometer (106) den Luftdruck in verschiedenen Stockwerken des Gebäudes.

Die gewöhnlichen Barometer sind nicht empfindlich genug, um die Änderungen des Luftdruckes in den verschiedenen Höhen eines Zimmers zeigen zu können. Man kann sie aber trotzdem leicht messen. Man umwickle eine große Flasche, um die in ihr enthaltene Luft gegen Temperaturveränderungen zu schützen, dicht mit Filz und führe durch den Gummistöpsel eine mit einem Flüssigkeitstropfen verschlossene horizontale Glasröhre. Bringt man die an einer langen Stange befestigte Flasche in verschiedene Höhen des Zimmers, so zeigt die Verschiebung des Tropfens die durch die Änderung des Druckes bedingte Änderung des Volumens der in der Flasche enthaltenen Luft an.

Aus dem Volumen der großen Kugel und der durch den Querschnitt des Röhrchens und der Verschiebung des Tropfens gegebenen Änderung des Volumens berechne man mit Hilfe des Boyleschen Gesetzes (105) das Verhältnis des Druckes in den verschiedenen Höhen des Zimmers zu dem an der höchsten benutzten Stelle und daraus den Druck selbst, indem man den letzteren zu 760 mm Quecksilber annimmt.

108. Nachprüfung eines Aneroidbarometers. Man stelle das Aneroidbarometer in ein mit einem dicht schließenden Deckel versehenes Gefäß (Exsikkator) (Fig. 132). Um den Deckel fest anzudrücken, spanne man über das Gefäß einen starken Kautschukring. Den Hals des Deckels verbinde man mit Hilfe zweier rechtwinklig

gebogenen Glasröhren und eines Kautschukschlauches mit dem Hals einer mit zwei Tuben versehenen Flasche. In dem einen Tubus der Flasche befestige man ein als Quecksilbermanometer dienende S-förmig gebogene Glasröhre; hinter dem Manometer bringe man mit Hilfe kleiner Kautschukringe einen Maßstab an. Den anderen Tubus verbinde man mit einer Luftpumpe. Die Schlauchverbindungen mache man sicher und dicht, indem man sie durch zusammengedrehten Draht abbindet.

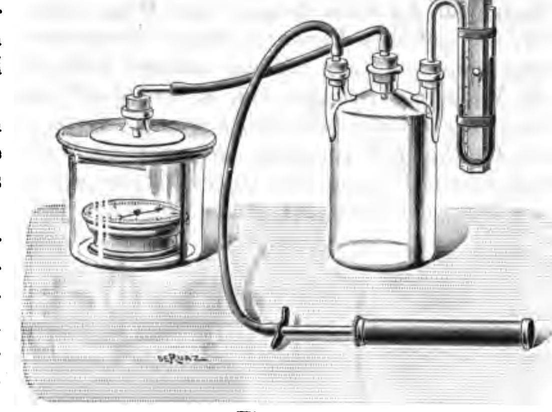


Fig. 132.

Man verdichte oder verdünne die Luft im verschlossenen Gefäß und bestimme den Druck, indem man den äußeren Luftdruck (106) um die Niveaudifferenz des Quecksilbers im Manometer vermehrt oder vermindert, und sehe, ob das Aneroidbarometer den richtigen Luftdruck angibt; eventuell entwerfe man auf Grund dieser Beobachtungen eine Korrektionstabelle.

109. Geschlossenes Manometer. Man stelle aus einer mit zwei Tuben versehenen Flasche ein Barometer her (106) (Fig. 133). Den einen Tubus verbinde man mit der Wasserluftpumpe, durch den anderen führe man eine zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhre, deren längeren Schenkel man in ein tiefer stehendes Gefäß mit Quecksilber tauchen läßt. Verdünnt man die Luft in der Flasche, so fällt das Quecksilber in der einen und steigt in der anderen Röhre. In welcher Beziehung stehen beide Quecksilbersäulen zueinander?

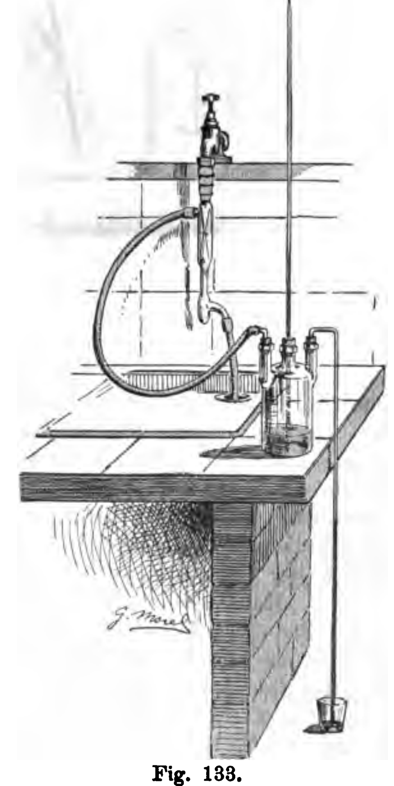


Fig. 133.

110. Messung des Druckes verdichteter Luft. 1. Man befestige an der einen Schale einer Wage (Fig. 134) eine in einen mit Wasser gefüllten Eimer tauchende Glasglocke, setze die in der Glocke abgeschlossene Luft mit der äußeren Luft in Verbindung und bringe die Wage ins Gleichgewicht, so daß das Wasser außerhalb und innerhalb der Glocke gleichhoch steht. Dann setze man die Luft in der Glocke in Verbindung mit einer als Wassermanometer dienenden tubulierten Flasche und einer Luftpumpe oder auch der Gasleitung, verdichte die Luft und bringe die Wage jedesmal wieder ins Gleich-

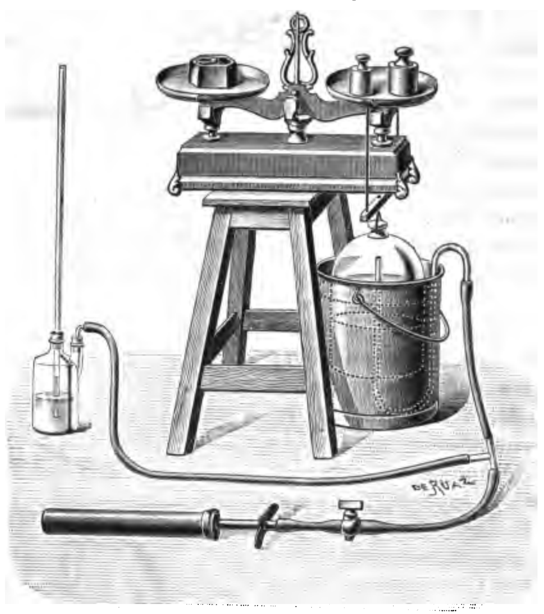


Fig. 134.

gewicht, wobei man, um dasselbe Volumen der abgeschlossenen Luft zu behalten, durch Hinzufügen oder Entfernen von Wasser dafür sorgt, daß das Wasser in der Glocke ebenso hoch steht wie vorher. Dann messe man den Druck im Manometer und berechne aus dem Verhältnis des zur Wiederherstellung des Gleichgewichts der Wage erforderlichen Belastung und der Druckfläche in der Glocke den Druck der verdichteten Luft und vergleiche beide Drucke.

2. Man verbinde die in Nr. 64 benutzte Membrankapsel mit Hilfe eines T-Stückes mit einer als Wassermanometer dienenden tubulierten Flasche und, unter Einfügung eines Hahnes, mit einer Kompressionspumpe (Fig. 135). Den Boden der Dose befestige man mit Klebewachs an der oberen inneren Fläche eines um die eine Schale einer Wage gehenden Holzrahmens; auf diese Schale lege man eine auf einem Brettchen ruhende berußte Glasplatte. Der

Rahmen muß so hoch sein, daß, wenn die Wage ins Gleichgewicht gebracht ist, die Kautschukmembran so nahe wie möglich über der Glasplatte steht.

Man verdichte die Luft, bis das Wassermanometer einen Druck von etwa 50 cm anzeigt, bringe die infolge der Ausdehnung der Membran aus dem Gleichgewicht gebrachte Wage durch allmähliche Vermehrung der Belastung wieder ins Gleichgewicht und bestimme diese Belastung und den durch das Manometer angezeigten Druck. Man berechne den Druck der verdichteten Luft aus dem Verhältnis der Belastung zu dem Flächeninhalt der auf der berußten Glas-

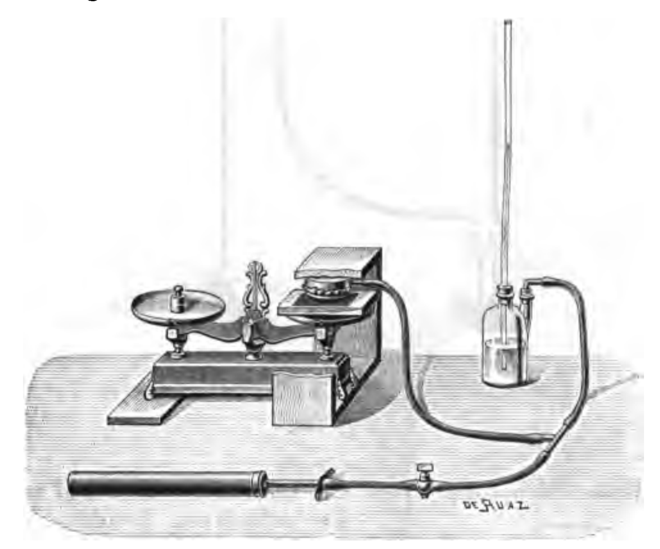


Fig. 135.

platte abgezeichneten Druckfläche und vergleiche das Resultat mit dem durch das Manometer angezeigten Druck.

Um den Flächeninhalt der Druckfläche zu bestimmen, genügt ein Abdruck auf Koordinatenpapier; den Inhalt bestimmt man dann wie in Nr. 8 angegeben. Man kann auch auf gewöhnlichem Papier einen Abdruck herstellen, indem man das mit Terpentinessenz befeuchtete und dann getrocknete Papier auf das Glas drückt und kräftig reibt. Man schneide aus diesem Papier die Fläche aus und bestimme ihren Inhalt durch Wägen.

3. Man füge den Stiefel einer Kompressionspumpe (Fig. 136) fest in ein in einem Brett angebrachtes Loch ein, befestige den nach unten gerichteten Kolben vertikal an einem Stativ und verbinde die Pumpe mit einer als Wassermanometer dienenden Flasche. Auch hier berechne man aus dem Verhältnis der Belastungen und der aus dem inneren Durchmesser des Stiefels zu bestimmenden Druck-

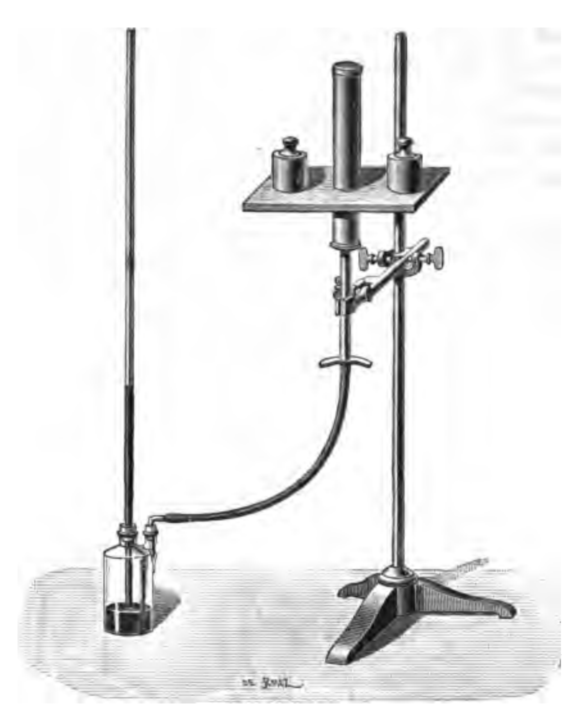


Fig. 136.

fläche (Kolbenfläche) den Druck der verdichteten Luft und vergleiche die gefundenen Resultate mit den am Manometer gemessenen Druckhöhen.

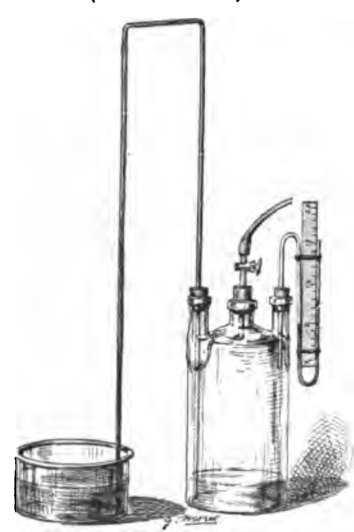


Fig. 137.

Man wiederhole den Versuch mit frisch eingefettetem sowie mit absichtlich trocken gewischtem Kolben.

111. Manometer mit zwei Flüssigkeiten. Den Hals einer mit zwei Tuben versehenen Flasche (Fig. 137) schließe man durch einen Glashahn. In dem einen Tubus befestige man ein Wassermanometer (108); durch den anderen Tubus führe man eine U-förmig gebogene Röhre, deren beide Schenkel bis auf den Boden der Flasche bezw. einer Kristallisierschale reichen. Die Flasche fülle man etwa 2 cm hoch mit Petroleum, die Glasschale etwa

1 cm höher mit gefärbtem Brennspiritus. Man verdichte mit dem Munde, die Öffnung des Wassermanometers mit dem Finger schließend, die Luft in der Flasche, so daß die Luft aus der ∩-Röhre herausgetrieben wird, aber kein Petroleum in den Spiritus übergeht. Stellt man dann das atmosphärische Gleichgewicht wieder her, so wird, da die Flüssigkeit in der Glasschale höher steht, das Petroleum zurückgehen und der Spiritus steigen.

Man verdichte oder verdünne nun die Luft in der Flasche und zeichne die Kurve, welche die im Wassermanometer angezeigten Druckhöhen als Abszissen, die Verschiebungen des Alkohol-Petroleummeniskus als Ordinaten enthält. Welches der beiden Manometer besitzt die größere Empfindlichkeit? Man berechne das Verhältnis der beiden Empfindlichkeiten aus den spezifischen Gewichten der drei Flüssigkeiten.

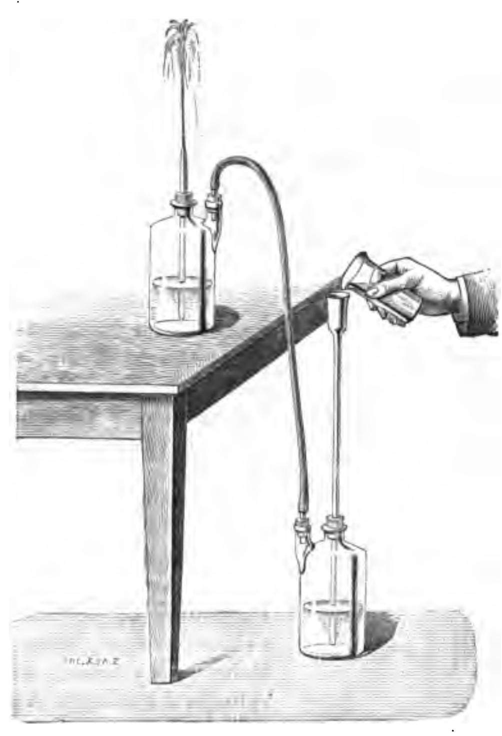


Fig. 138.

112. Heronsbrunnen. Zwei tubulierte Flaschen verbinde man, wie Fig. 138 zeigt, durch einen Kautschukschlauch. Durch den Hals der oberen Flasche führe man eine Röhre mit ausgezogener Spitze, durch den der anderen eine lange Trichterröhre. Man vergleiche die Druckhöhe mit der Springhöhe.

113. Auftrieb. Man hänge eine möglichst große Glaskugel unter die eine Schale einer Wage und lasse die Kugel in einen leeren, d. h. mit Luft gefüllten Eimer tauchen. Nachdem man die Wage in das Gleichgewicht gebracht hat, lasse man vorsichtig Kohlensäure in den Eimer fließen. Die Wage kommt durch den Auftrieb der Kohlensäure aus dem Gleichgewicht. Gießt man aber auch in die Kugel selbst Kohlensäure, so stellt sich das Gleichgewicht nahezu wieder her (68).

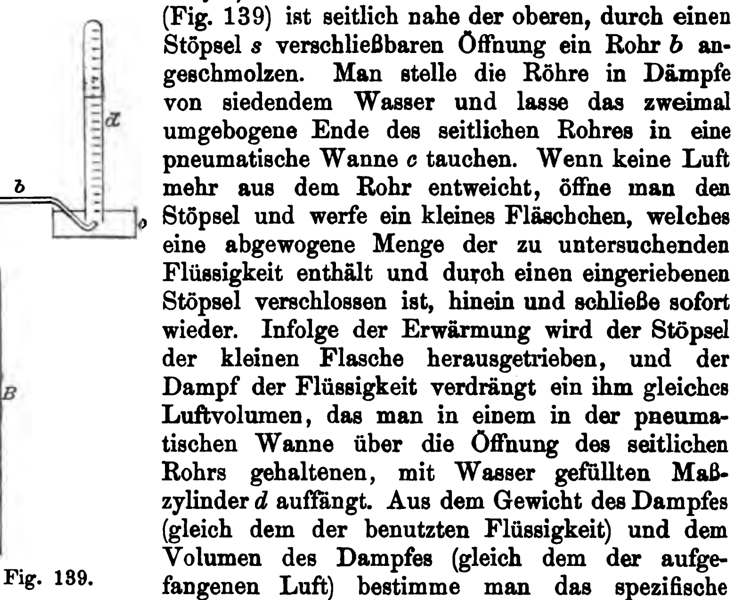
114. Spezifisches Gewicht von Gasen. Einen etwa ein Liter fassenden Glaskolben verbinde man unter Einfügung eines Hahnes mit einer Kompressionspumpe, von welcher man, um das Volumen der

durch einen Kolbenstoß herausgetriebenen Luft berechnen zu können, Länge und Durchmesser des Stiefels gemessen hat. Man presse etwa ein Liter Luft in den Glaskolben, bestimme die Gewichtszunahme und berechne das spezifische Gewicht der Luft.

Man mache den Glaskolben luftleer und wäge ihn ab. Dann lasse man die Luft wieder eintreten und bestimme wieder das Gewicht. Die Differenz gibt das Gewicht der in der Kugel abgeschlossenen Luftmenge. Das Gewicht des gleichen Volumens Wasser bestimme man aus dem Gewichtsunterschied des luftleeren und des mit Wasser gefüllten Glaskolbens. Aus diesen Messungen berechne man das spezifische Gewicht der Luft.

In entsprechender Weise suche man das spezifische Gewicht von Leuchtgas, Kohlensäure oder Ammoniak.

115. Spezifisches Gewicht von Äther- und Alkoholdampf (Methode nach V. Meyer). An eine unten erweiterte Glasröhre *a* (Fig. 139) ist seitlich nahe der oberen, durch einen Stöpsel *s* verschließbaren Öffnung ein Rohr *b* angeschmolzen. Man stelle die Röhre in Dämpfe von siedendem Wasser und lasse das zweimal umgebogene Ende des seitlichen Rohres in eine pneumatische Wanne *c* tauchen. Wenn keine Luft mehr aus dem Rohr entweicht, öffne man den Stöpsel und werfe ein kleines Fläschchen, welches eine abgewogene Menge der zu untersuchenden Flüssigkeit enthält und durch einen eingeriebenen Stöpsel verschlossen ist, hinein und schließe sofort wieder. Infolge der Erwärmung wird der Stöpsel der kleinen Flasche herausgetrieben, und der Dampf der Flüssigkeit verdrängt ein ihm gleiches Luftvolumen, das man in einem in der pneumatischen Wanne über die Öffnung des seitlichen Rohrs gehaltenen, mit Wasser gefüllten Maßzylinder *d* auffängt. Aus dem Gewicht des Dampfes (gleich dem der benutzten Flüssigkeit) und dem Volumen des Dampfes (gleich dem der aufgefangenen Luft) bestimme man das spezifische Gewicht des Dampfes. Man benutze als Flüssigkeiten Äther und Alkohol und vergleiche das Verhältnis ihrer spezifischen Gewichte mit dem Verhältnis ihrer Molekelgewichte (Äther $C_4H_{10}O = 74$; Alkohol $C_2H_5OH = 46$).



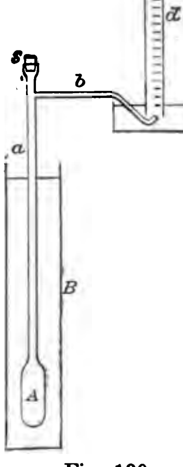


Fig. 139.

116. Bewegung durch Differenz der spezifischen Gewichte. 1. Durch Hals und Tubus einer Flasche führe man zwei zweimal rechtwinklig gebogene Glasröhren (Fig. 140) Man schicke, um die Luft zu entfernen, einen Kohlensäurestrom durch diesen Saugheber und überlasse dann die Flasche, in welche man kurz vor Beginn des Versuches ein mit Salzsäure und ein mit Ammoniak befeuchtetes Fließpapierstück geworfen hat, sich selbst. An den Salmiaknebeln

beobachte man, durch welches Rohr die Luft eindringt und durch welches Rohr die Kohlensäure entweicht. Man wiederhole denselben Versuch mit Leuchtgas. 2. Man verbinde zwei kurze Glasröhren mit Hilfe eines T-Stückes mit der Gasleitung (Fig. 141), halte die Öffnungen der Glasröhren gleichhoch, zünde das Gas an und reguliere den Gasdruck so, daß die Flammen etwa 5—10 cm hoch sind; je kleiner die Flammen sind, um so größer ist die Empfindlichkeit.



Fig. 140.

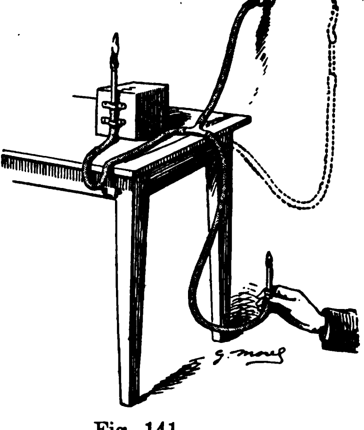


Fig. 141.

Sind die Flammen nicht gleichhoch, so verkleinere man die größere durch eine auf den sie speisenden Schlauch gesetzte Klemme, bis Gleichheit erreicht ist. Dann halte man die eine Flamme niedriger und beobachte, wie sie immer kleiner und kleiner wird und schließlich erlischt.

Man benutze die zweite Flamme, um an einer Wand eine Horizontale zu ziehen, indem man die Flamme an der Wand entlang führt und die Höhen bezeichnet, in denen nahezu Erlöschen eintritt.

117. Gasreaktionsrad. Man biege an einem T-Stück aus Glas zwei Enden rechtwinklig um (Fig. 142), ziehe die Spitzen aus und blase an der Verbindungsstelle der drei Teile eine Erweiterung. Man lasse das T-Stück auf einer Stricknadel ruhen, die im längeren Arm einer dreimal rechtwinklig gebogenen Röhre steht, welche mit der Gasleitung verbunden ist. Das Ganze stelle man in ein mit Wasser gefülltes Gefäß.



Fig. 142.

Man schicke einen Gasstrom unter starkem Druck hindurch und zünde das an den Spitzen ausströmende Gas an. In welcher Richtung bewegen sich die Spitzen? (66).

118. Ausströmen eines Gases aus einer Öffnung in dünner Wand. Man verbinde eine Mariottesche Flasche, auf welcher man Teilstriche angebracht hat, die Raumteilen von je 0,2 l entsprechen, durch Glasröhren und Kautschukschlauch nebst Quetschhahn mit einem Tubus einer Flasche, in deren zweitem Tubus ein Wassermanometer (108) angebracht ist (Fig. 143). Eine etwa 0,5 mm dicke, kreisförmige Zinkplatte durchbohre man im Mittelpunkt durch ein höchstens 1 mm weites Loch. Man schließe dieses Loch wieder durch Hämmern

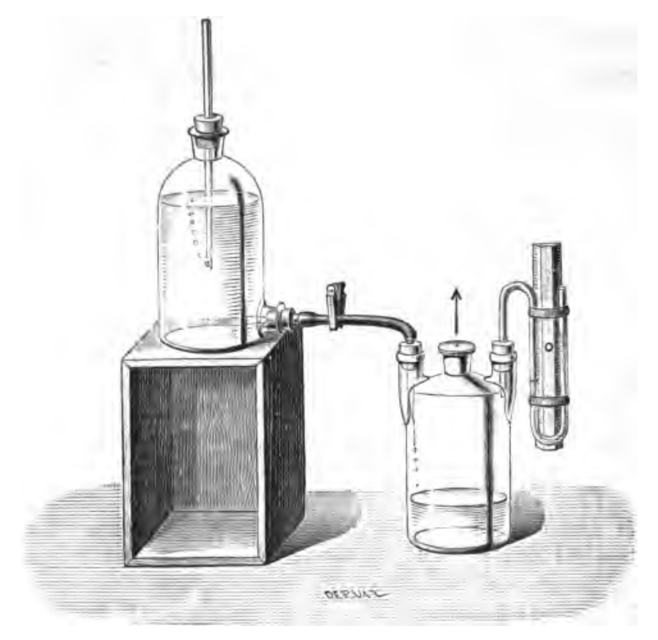


Fig. 143.

und öffne es von neuem mit Hilfe einer besonders feinen Stricknadel. Diese Platte befestige man mit Klebewachs auf dem Hals der Flasche.

Man öffne den Quetschhahn, messe am Manometer den Druck, unter welchem die Luft in der Flasche steht, und am Leerlaufen der Mariotteschen Flasche die durch die Zinkplatte ausströmende Luftmenge. Zunächst untersuche man durch Verschieben der Luftzuführungsröhre der Mariotteschen Flasche die Beziehung zwischen dem Druck und dem Quadrat der Ausflußgeschwindigkeit, bezw. der ausfließenden Menge. Dann stelle man dieselben Versuche an, wenn die Ausströmflasche mit Kohlensäure oder Ammoniak oder Wasserstoff gefüllt ist und untersuche, ob sich für gleiche Druckhöhen die Quadrate der Ausflußgeschwindigkeiten umgekehrt verhalten, wie die spezifischen Gewichte.

119. Eichung einer Gasuhr. Man bestimme in dem vorigen Versuch die Zeit, in welcher bei irgendeinem Druck ein bestimmtes Volumen Leuchtgas aus der Flasche ausströmt. Dann bringe man die Gasuhr an die Stelle der Mariotteschen Flasche und lasse das Gas bei demselben Druck ausströmen. Aus der vorher gefundenen Beziehung zwischen Zeit und Volumen berechne man für eine beliebige Zeit das durchgeströmte Volumen und vergleiche das Resultat mit der Angabe der Uhr.

120. Reibung von Gasen. Man verbinde eine Mariottesche Flasche mit dem einen Tubus einer Flasche, in deren anderem Tubus ein Wassermanometer und in deren Hals eine längere, sehr enge Glasröhre befestigt sind (Fig. 144); sämtliche Verbindungen stelle man sicher schließend her. Auf der Mariotteschen Flasche bringe man Teilstriche an, die Raumteilen von je 0,2 l entsprechen.

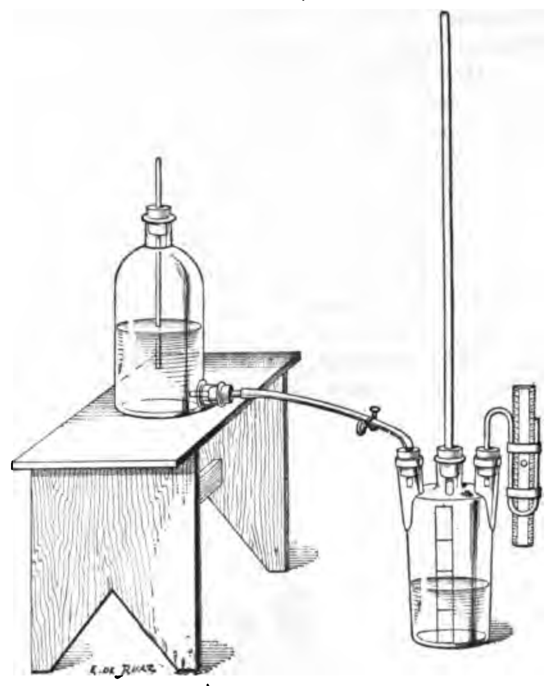


Fig. 144.

Man lasse die Luft mit verschiedenen Geschwindigkeiten ausströmen. In welcher Beziehung stehen Ausflußgeschwindigkeit und Druckhöhe? Man wiederhole die Versuche mit wasserfreier Kohlensäure. Man verkürze die Röhre auf $^3/_4$, $^1/_2$ und $^1/_4$ ihrer Länge und lasse für jede dieser Röhren 0,2 l Luft unter demselben Druck ausströmen. In welcher Beziehung steht die Ausflußgeschwindigkeit zur Röhrenlänge?

121. Widerstand der Luft. Läßt man in einer mit gut schließenden Korkstöpseln und Glashahn versehenen Glasröhre, welche man mit Hilfe einer Wasserluftpumpe luftleer gemacht hat, eine Münze und ein ebenso großes Stück Papier gleichzeitig fallen, so erreichen beide den Boden gleichzeitig. Fallen aber beide Stücke in Luft, so erreicht die Münze den Boden eher, weil sie denselben Querschnitt, aber das größere Gewicht besitzt, um den Widerstand der Luft überwinden zu können. Warum kommen aber beide Stücke

wieder gleichzeitig am Boden an, wenn man das Papier auf die Münze gelegt hat.

Man lasse zwei gleichgroße Papierstücke, von denen das eine zu einer Kugel geformt ist, gleichzeitig fallen. Welchen Einfluß hat der Querschnitt auf den Luftwiderstand?

Man lasse einen kleinen Fallschirm mit verschiedener Belastung fallen.

Man lasse eine mit Leuchtgas gefüllte Seifenblase hochsteigen. Die Seifenblase wird infolge abnehmender Beschleunigung mit zunehmender Geschwindigkeit steigen, die schließlich einen maximalen Grenzwert erreicht. Dieselbe Erscheinung zeige man, indem man Wassertropfen in Petroleum fallen läßt.

Man lasse einen Gummiball aus immer größerer Höhe auf den Boden fallen und bestimme die Höhe, bis zu welcher der Ball beim Abprallen wieder hochsteigt. Man wird schließlich eine Grenze für diese Steighöhe erhalten, d. h. also auch eine Grenze für die Geschwindigkeit, mit welcher der Ball aufschlägt. Um diese annäherungsweise bestimmen zu können, messe man die Steighöhe und berechne nach den Gesetzen des freien Falles die Anfangsgeschwindigkeit, mit welcher der Ball beim Abprallen hoch gegangen ist, wobei man vom Luftwiderstand absehen kann. Nach den Gesetzen des Stoßes (59) ist diese Geschwindigkeit gleich der, mit welcher der Ball aufschlug.

122. Messung des Widerstandes der Luft. Man lasse einen Elektromotor unter Beobachtung von Klemmenspannung und Strom-

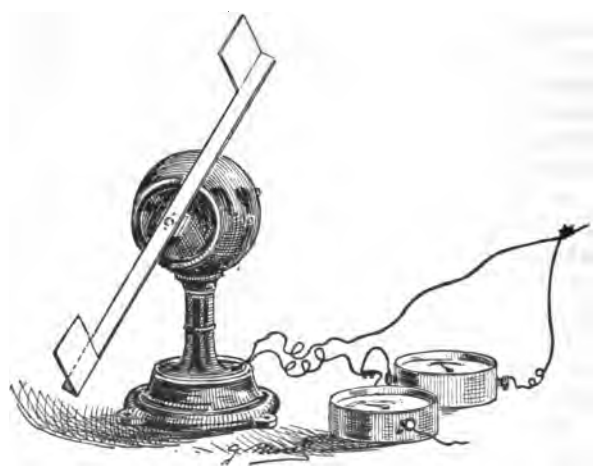


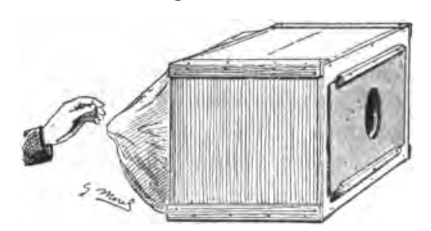
Fig. 145.

stärke mit Hilfe von Volt- und Ampèremeter mit verschiedenen Geschwindigkeiten, welche man mit Tourenzähler und Uhr bestimmt, leer laufen, trage die Geschwindigkeiten als Abszissen, die zu ihrer Erzielung nötige, aus dem Produkt von Klemmenspannung und Strom-

stärke berechnete Energie als Ordinaten ein und verbinde die Punkte durch einen Kurvenzug. Dann mache man dieselben Versuche, indem man auf den Motor den Windfang oder den Ventilator (Fig. 145) steckt, und zeichne wieder die Kurve. Zieht man von den durch diese Kurve gegebenen Energiemengen die für den Leerlauf nötige ab, so erhält man die vom Windfang bezw. Ventilator gebrauchte Energie.

Den Winddruck, welchen der vom Ventilator erzeugte Wind ausübt, messe man durch die Wagschale einer Tafelwage.

123. Rauchwirbel. Einem quadratrisch geformten Holzkästchen gebe man auf der einen Seite eine gleichfalls quadratische Öffnung, die durch eine in einem Gleitrahmen bewegliche, mit kreisförmigem Loch versehene Zinkplatte verschlossen oder geöffnet werden kann (Fig. 146). Die hintere Wand verschließe man durch ein beutelartiges Kattunstück, dessen Spitze sich nach rückwärts bewegen läßt. Im



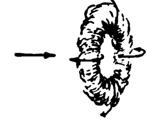


Fig. 146.

Inneren hänge man mit Ammoniak und Salzsäure befeuchtete Papierstücke auf. — Man ziehe das Tuch vorsichtig zurück, stoße es dann mit kurzem Ruck nach vorn und beobachte die auf mehrere Meter vorgehenden Wirbelringe bei seitwärts kommender Beleuchtung auf dunklem Grunde. — Man treibe in einen Ring einen zweiten hinein und beobachte, wie der erste sich vergrößert und dadurch an Geschwindigkeit verliert, während der zweite sich verkleinert, dadurch an Geschwindigkeit gewinnt und durch den ersten hindurchgeht. — Man wiederhole den ersten Versuch mit einer ellipsenförmigen Öffnung und beobachte die periodischen Änderungen, welche der Wirbelring während der fortschreitenden Bewegung erfährt.



Fig. 147.

124. Wirbelringe in Flüssigkeiten. Mit einem Tropfenzähler oder einer Pipette tröpfle man Tinte in ein mit Wasser gefülltes Gefäß, um — bei passend gewählter Höhe — den Rauchringen ähnliche Wirbelringe zu erhalten (Fig. 147).

125. Diffusion des Wasserstoffs. Man führe durch die Öffnung eines kleinen Tonzylinders (Fig. 148) mittelst eines Korkstöpsels eine lange und eine kurze Röhre, verbinde die kürzere mit einem mit Quetschhahn versehenen Kautschukschlauch und führe die längere durch den Hals einer tubulierten Flasche bis in das mit Anilin gefärbte Wasser. Durch den Kautschukschlauch leite man, bei geöffnetem Stöpsel, in das Tongefäß Wasserstoff oder Leuchtgas. Dann schließe man den Stöpsel und beobachte das Verhalten der Wassersäule.



Fig. 148.

Man ändere den Versuch, indem man über den mit Luft gefüllten Tonzylinder eine Glocke hält und in diese das Gas leitet.

126. Durchlässigkeit dünner Häutchen. Man bringe an den Rand eines Trichters eine Seifenblase, schließe die Öffnung mit dem Finger und halte die Blase einige Zeit in ein weites, mit etwas Äther gefülltes Gefäß. Dann nehme man den Trichter heraus und zünde an der Öffnung den in der Blase befindlichen Äther an.

V. Wellenlehre und Akustik.

127. Longitudinalwellen. Aus etwa 1 mm dickem Eisendraht stelle man eine Spiralfeder von 400 Windungen her, indem man den Draht um einen 3 cm dicken Zylinder wickelt. Man hänge die Spiralfeder vertikal auf (Fig. 149), gleiche die Abstände der einzelnen Windungen möglichst aus und bringe zwischen ihnen in Abständen von 10 cm Papierstreifen oder Strohhalme an, die als Zeiger für die Bewegung dienen können.

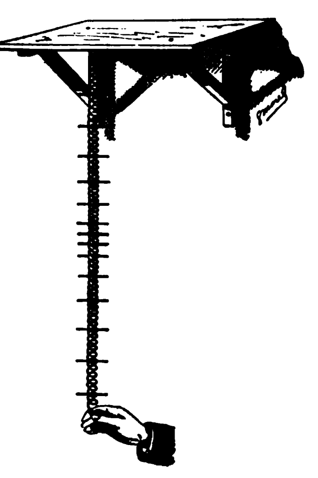


Fig. 149.

Man erteile der Spirale einen Ruck, indem man das zwischen den Fingern gehaltene Ende rasch vor- oder zurückbewegt und dann die Hand still hält. In welcher Richtung zuckt dieses Ende bei der Rückkehr der Bewegung? Welchen Schluß kann man daraus auf die Reflexion der am oberen Ende ankommenden Verdünnung oder Verdichtung ziehen. Man zähle die in einer bestimmten Zeit an der Hand erfolgenden Reflexionen, berechne daraus die Zahl n der Reflexionen für eine Sekunde und bestimme die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle, indem man bedenkt, daß sie zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reflexionen an der Hand die Länge der Spirale einmal nach oben und einmal nach unten, insgesamt also zweimal, zurückgelegt hat und als Fortpflanzungsgeschwindigkeit der in der Sekunde zurückgelegte Weg definiert wird.

Man bewege das Ende der Spirale durch aufeinanderfolgende Bewegungen der Hand vertikal auf- und abwärts und lasse die Periodenzahl, d. h. die in der Sekunde stattfindende Zahl dieser Bewegungen allmählich größer werden, mit ganz langsamer Bewegung anfangend.

Wie ist bei langsamer Bewegung der Hand, bei der die Periodenzahl größer ist als $\frac{4l}{v}$, wo l die Länge der Spirale und v die oben

bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle ist, die von der Feder auf die Hand ausgeübte Kraft gerichtet?

Man beobachte die Größe der Kraft, wenn die Periodenzahl genau $\frac{4l}{v}$ beträgt. In diesem Schwingungszustande überlasse man die Spirale sich selbst, indem man sie losläßt. Sie gibt ein Bild der Luftschwingungen in einer gedeckten Orgelpfeife, welche ihren Grundton angibt, mit einem Knoten am festen (geschlossenen) und einem Bauch am freien (offenen) Ende.

Man vermehre die Geschwindigkeit der Handbewegungen noch weiter; wie ist jetzt die Richtung der Kraft, welche die Spirale auf die Hand ausübt?

Hat man die Schwingungszahl $\frac{2l}{v}$ erreicht, so bietet die Spirale wiederum eine hervortretende Erscheinung dar: Man braucht der Hand nur ganz kurze Bewegungen zu geben, ja, wenn man der Spirale einmal den Schwingungszustand erteilt hat, darf man die Hand sogar stillhalten, die Spirale schwingt in ihrer Mitte doch heftig auf und ab. Man hat eine stehende Welle mit 2 Knoten und einem Bauch. Die Spirale gibt ein Bild der Schwingungen einer Saite, welche ihren Grundton angibt.

Durch weiteres Steigern der Periodenzahl der Handbewegung kann man noch weitere Teilungen der Spirale in Knoten und Bäuche erzielen.

Man nennt diejenigen Schwingungen, bei denen man die Hand, nachdem einmal der Schwingungszustand erreicht ist, entweder wegnehmen oder stillhalten kann, Eigenschwingungen der Spirale, des schwingenden Systems. In welcher einfachen Beziehung stehen die Schwingungszahlen der Eigenschwingungen zueinander?

Man wiederhole diese Versuche, indem man die Spirale um 10 oder 20 cm spannt, d. h. die das Ende der Spirale haltende Hand um einen 10 oder 20 cm tieferen Punkt herum die Bewegungen ausführen läßt. Man bestimme hierbei wieder die Fortpflanzungsgeschwindigkeit und die Periodenzahl der Eigenschwingungen und vergleiche diese Werte mit den vorhin gefundenen.

128. Transversalwellen. Das eine Ende eines mehrere Meter langen Kautschukschlauches befestige man im Schraubstock; das andere Ende halte man in der Hand, den Schlauch mäßig spannend (Fig. 150.)

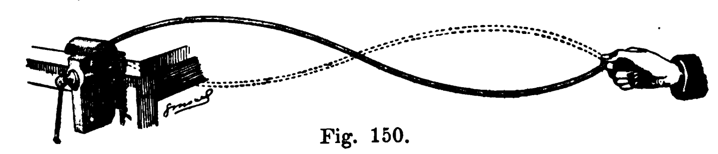
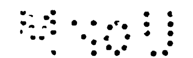


Fig. 150.

Man bewege die Hand mit einem Ruck nach oben und wieder zurück und beobachte, wie sich ein Wellenberg bildet, der vom festen Ende als Wellental zurückkehrt, dann wieder als Wellenberg



zurückgeht usw. Man zähle die in einer bestimmten Zeit an der Hand erfolgenden Reflexionen, berechne daraus die Zahl n der für eine Sekunde erfolgenden Reflexionen und dann die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Welle.

Man schicke der ersten Welle in dem Augenblick, da sie am festen Ende reflektiert wird, eine andere nach und beobachte, wie sich beide Wellen kreuzen (interferieren).

Man erzeuge durch fortgesetzte Auf- und Abbewegung der Hand, deren Periodenzahl (Schwingungszahl) man immer größer und größer werden läßt, stehende Wellen und beobachte namentlich diejenigen, welche an dem von der Hand gehaltenen Ende gerade einen Bauch oder einen Knoten haben. In welcher Beziehung stehen bei diesen Wellen Wellenlänge und Länge des Schlauches? Man berechne die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wellen, indem man beachtet, daß in derselben Zeit, in welcher ein Punkt, z. B. der Endpunkt des Schlauches, eine vollständige Auf- und Abbewegung gemacht hat, sich eine Welle auch um eine ganze Wellenlänge λ von ihm aus fortgepflanzt hat, so daß, wenn er in der Zeiteinheit n vollständige Schwingungen macht, sich auch der Anfang der Wellenbewegung auf dem Schlauch in der Zeiteinheit um n Wellen fortgepflanzt hat, und daß bei stehenden Wellen die Entfernung zweier benachbarter Knoten (Bäuche) gleich einer halben Wellenlänge ist. —

Man wiederhole dieselben Versuche für verschiedene Spannungen des Schlauches. Wie ist das Quadrat der Fortpflanzungsgeschwindigkeit von der Spannung abhängig? Die Spannung mißt man, indem man bei horizontaler Lage am freien Ende einen Faden befestigt, den man über eine Rolle führt, und dann die Gewichte bestimmt, welche den Schlauch bis auf die Länge ausdehnen, welche er während des Versuches hatte.

129. Transversalwellen eines gespannten Fadens. Von einer elektrischen Klingel entferne man Glocke und Klöppel und bringe am Ende des Hammers einen über 1 m langen, durch ein Gewicht von 100 g beschwerten, sehr feinen Seidenfaden an (Fig. 151).

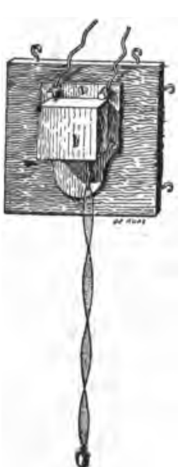


Fig. 151.

Man setze die Klingel in Bewegung und beobachte, wie das Gewicht unbeweglich bleibt und der Faden als Ganzes schwingt, wobei der Befestigungspunkt die größte Amplitude besitzt. Man vermindere allmählich die Belastung und beachte, wie zuerst die Amplituden der einzelnen Fadenteilchen wachsen, wie sich dann ein Bauch am oberen Ende ausbildet, der allmählich bis zur Mitte fortschreitet, so daß eine Transversalwelle entsteht mit einem Bauch in der Mitte, einem festen Knoten unten und einem gezwungen schwingenden Knoten oben, wie bei weiterer Verminderung der Belastung der Faden sich in

zwei, dann in immer mehr und mehr gleiche, durch Knoten von einander getrennte Teile gliedert, deren Eigenschwingungen (127) sämtlich, mit Ausnahme des obersten gezwungen schwingenden Teiles, mit der Bewegung des Hammers isochron sind. Man berechne aus der Schwingungszahl und der Wellenlänge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit für die verschiedenen, durch die Belastung gegebenen Spannungen des Fadens und suche wie in der vorigen Nummer die Beziehung zwischen Fortpflanzungsgeschwindigkeit und Belastung.

Man wiederhole diese Versuche mit einem dickeren Faden, vergleiche für beide Fälle zwei Versuche mit demselben spannenden Gewicht und suche die Beziehung zwischen der Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Quadratwurzel aus dem Gewicht der Längeneinheit des Fadens.

Aus diesen für verschiedene Spannungen angestellten Vergleichen suche man eine Bestätigung des Gesetzes, daß durch Fadenmasse pro Längeneinheit und Spannung des Fadens für jeden Faden eine bestimmte Fortpflanzungsgeschwindigkeit bedingt ist.

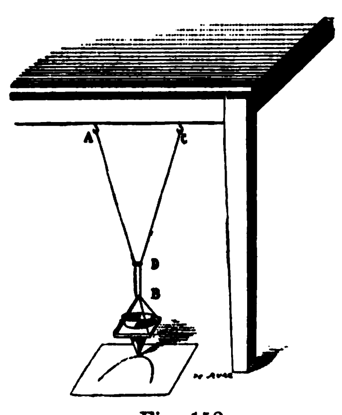


Fig. 152.

130. Zusammensetzung zweier Schwingungen. Eine quadratische Bleiplatte versehe man mit einem Loch von abgestumpfter Kegelform, in welchem ein kleiner, mit feiner Spitze versehener Trichter ruhen kann. Man durchbohre die Platte an den vier Ecken, um sie, wie Fig. 152 zeigt, aufhängen zu können, und lege um die beiden Aufhängefäden einen kleinen, aus einem Faden zusammengeknüpften verschiebbaren Ring (D). Den Trichter fülle man mit feingesiebtem Sand. Man verschiebe den Laufring so, daß sich z. B. die Schwingungsdauer des bei festgehaltenem Punkt D schwingenden unteren Pendels und die des ganzen Pendels wie 1 : 2 verhalten, erteile dem Pendel eine nach irgendeiner Richtung gehende Schwingung und beobachte die vom Sand gezeichnete Kurve.

Man wiederhole den Versuch für ein anderes einfaches Verhältnis der Schwingungsdauern.

131. Zusammensetzung rechtwinkliger Schwingungen. Man befestige einen auf etwa ein Viertel seiner Länge rechtwinklig tordierten Stahlstreifen im Schraubstock und bringe am Ende mit Hilfe von Wachs eine blanke Stahlkugel an (Fig. 153). Man bestimme zuerst die Schwingungszahl des oberen Teiles und ändere dann die Stellung des unteren so, daß die Schwingungsdauer des ganzen Pendels im einfachen Verhältnis zu der des oberen steht. Für

einen in irgend einer Richtung erteilten Stoß beobachte man die von der Stahlkugel beschriebenen Schwingungsformen.

Man wiederhole den Versuch für andere einfache Verhältnisse der Schwingungszahlen.

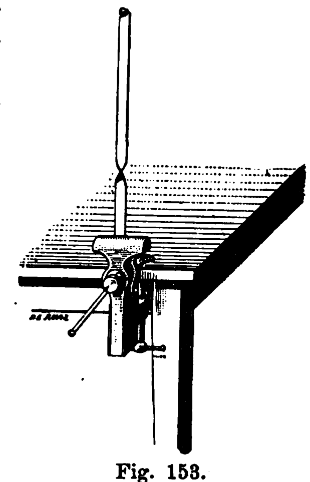


Fig. 153.

132. Lissajoussche Figuren. Man zeichne zwei konzentrische Kreise, deren Radien gleich den Amplituden der beiden zusammenfallenden, aufeinander senkrechten Schwingungen sind. In dem durch Fig. 154 gegebenen Beispiel verhalten sie sich wie 1 : 2. Von irgendeinem Radius ausgehend, teile man den einen Kreis in eine beliebige Anzahl Teile (z. B. 12). Den anderen Kreis teile man von einem Radius ausgehend, welcher mit dem Anfangsradius des ersten Kreises einen Winkel gleich der Phasendifferenz macht (z. B. 0°). Die Zahl der Teile nehme man gleich, wenn die Schwingungszahlen gleich sind, bezw. $^1/_2$, $^1/_3$ usw. wenn die Schwingungszahl der zweiten Schwingung 2 mal, 3 mal usw. größer ist (z. B. 2), nummeriere dafür aber dann 2 mal, 3 mal usw. herum. Man ziehe nun durch die Punkte Gerade parallel zu den durch den Kreis dargestellten Schwingungen; in der Figur ist die Schwingung des großen Kreises horizontal, die des kleinen vertikal angenommen. Aus den Schnittpunkten dieser Geraden hebe man diejenigen hervor, welche gleichen Nummern entsprechen und verbinde diese durch einen Kurvenzug, welcher die Lissajoussche Figur darstellt.

Fig. 154.

Im Beispiel verhalten sich die Amplituden wie 1 : 2. Zur kleineren Amplitude gehört die Oktave der Schwingung mit größerer Amplitude. Beide Schwingungen haben die Phasendifferenz 0°, d. h. beide beginnen im selben Augenblick.

Will man die Zeichnung genauer haben, so teile man den Kreis in 24 Teile.

Man zeichne nach dieser Methode die Lissajousschen Figuren zweier Schwingungen von gleicher Amplitude und gleicher Schwingungszahl und den Phasendifferenzen $^1/_{12}$, $^2/_{12}$, $^3/_{12}$ . . ., ebenso bei gleicher Amplitude, dem Verhältnis 1 : 2 der Schwingungszahlen und denselben Phasendifferenzen.

Man erleichtert sich diese Zeichnungen sehr, wenn man das Netz der Parallelen ein für allemal zeichnet und dann einfach durchsticht. Die Bilder werden dann auch übersichtlicher.

133. Experimentelle Darstellung der Figuren von Lissajous. In zwei federnde Stahlstreifen bohre man zwei Löcher, mittels deren man sie, in gleicher Höhe, horizontal an zwei Holzkästen (Fig. 155) anschraubt. Am anderen Ende tordiere man die Streifen um einen rechten Winkel. An dieses Ende des einen Streifens leime man, horizontal gestellt, eine quadratische Glasplatte, und auf dieser befestige man mit weichem Wachs eine zweite, berußte Glasplatte oder Papier.

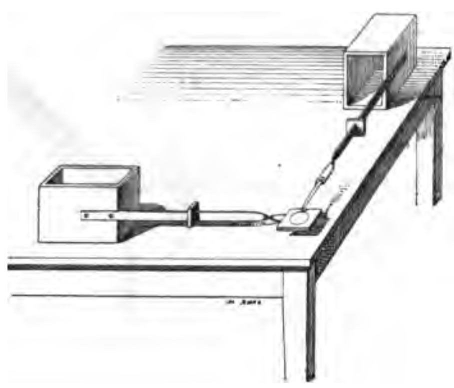


Fig. 155.

Aus dünnem Stahlblech schneide man ein Stäbchen, das man an einem Ende ausglüht, um es hier mittels eines dünnen Holzplättchens und Leim an dem tordierten Ende des zweiten Stahlstreifens befestigen zu können. Die Spitze des Stiftes biege man um, so daß sie einen leichten Druck auf die berußte Glasplatte ausüben kann. Kleine Bleiplatten richte man durch einen Sägeschnitt als Laufgewichte für die Stahlstreifen her.

Man reguliere die Stellung der beiden Laufgewichte so, daß beide Stahlstreifen gleiche Schwingungszahlen haben, beobachte dann die Geraden, wenn nur ein Streifen vibriert, dann die aus der Zusammensetzung beider Schwingungen bei gleicher Amplitude entstehende Kurve.

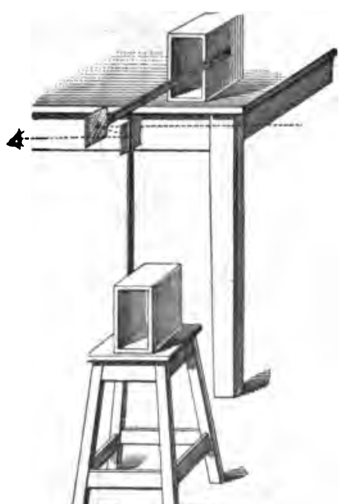


Fig. 156.

Man rufe durch Verschiebung der einen Bleiplatte einen geringen Periodenunterschied hervor und beobachte die entstehende Kurve und ihre durch den Periodenunterschied hervorgerufene Bewegung und Veränderung.

Man stelle einfache Beziehungen zwischen den Perioden der Schwingungen der beiden Stäbe her, z. B. Oktave oder Quinte, und beobachte die verschiedenen Kurven und ihre Bewegung.

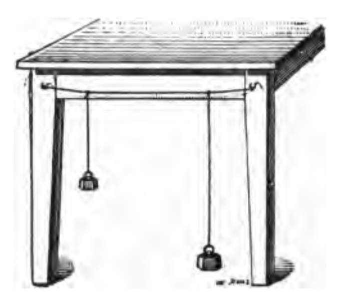
134. Optische Beobachtung der Lissajousschen Kurven. Zwei an Holz-

kästen befestigte Stahlstreifen versehe man am freien Ende mit kleinen Spiegeln (Fig. 156). Den einen Stahlstreifen lasse man vertikal, den anderen horizontal schwingen, so daß man mit Hilfe der parallel gestellten Spiegel die von dem Bild eines leuchtenden Punktes, z. B. einer blanken Stahlkugel, beschriebene Kurve beobachten kann.

Um verschiedene Kurven erhalten zu können, gebe man den Strahlstreifen je eine eingeschnittene kleine Bleiplatte als Laufgewicht.

135. Gegenseitige Übertragung zweier Pendelschwingungen. An einen wagerecht gespannten Faden hänge man an dünnen Kupferdrähten zwei Pendel, von denen das eine die doppelte Länge und eine mehrmals größere Belastung als das andere besitzt (Fig. 157).

Man lasse das längere Pendel schwingen und beobachte die allmähliche Übertragung der Bewegung auf das kürzere Pendel, sowie die durch die Verschiedenheit der Pendellängen hervorgerufenen Interferenzen beider Schwingungen und die hierdurch wieder veranlaßten, gegenseitig erteilten Stöße.


Fig. 157.

Man wiederhole den Versuch, indem man die Bewegung des kleinen Pendels dadurch dämpft, daß man das Gewicht in Wasser tauchen läßt, und beobachte, wie die Schwingungen beider Pendel ziemlich schnell isochron werden und nahezu Phasenübereinstimmung zeigen.

136. Resonanz. 1. Man hänge an einem gespannten Faden eine Anzahl von Pendeln auf, unter denen einige gleiche, die anderen eine andere Länge haben. Setzt man eines der Pendel in Schwingungen, so werden die gleichlangen nach einiger Zeit in deutliche Schwingungen geraten, die anderen nicht.

2. Aus der für Spirale (127) oder Schlauch (128) beobachteten Fortpflanzungsgeschwindigkeit und der Länge berechne man die Schwingungszahl für ein System stehender Wellen auf Schlauch oder Spirale. Dann gebe man dem Ende ganz schwache Stöße mit der berechneten Periodenzahl; nach einiger Zeit wird sich das berechnete System von stehenden Schwingungen entwickelt haben, mit Amplituden, welche viel größer sind, als die der Stöße.

137. Wellen an der Oberfläche des Wassers. Man lege ein größeres flaches Glasgefäß, z. B. ein Fenster mit Rahmen, dessen Ritzen man sorgfältig verkittet, auf den Rand zweier Tische und gieße 1—2 cm hoch Wasser auf. Unter das Glas leime man ein weißes Blatt Papier, auf welches die Wellen hinreichend kräftige Schatten werfen, um am Tage beobachtet werden zu können.

F o r t p f l a n z u n g   d e r   W e l l e n. Man berühre die Wasseroberfläche wiederholt mit dem Finger und beobachte, wie sich von diesem

Punkt aus kreisförmig-konzentrische Wellen ausbreiten. Man erzeuge an zwei Punkten gleichzeitig zwei solcher Wellensysteme und beobachte, wie sie sich durchkreuzen und nachher ihre Bewegung unverändert fortsetzen.

Reflexion. Man stelle in das Wasser einmal eine ebene, das andere Mal eine parabolisch gekrümmte Zinkplatte, erzeuge vor ihr die Wellen und beobachte die nach der Reflexion weitergehenden divergenten, konvergenten und — wenn die Wellen im Brennpunkt erzeugt waren — geradlinigen Wellen.

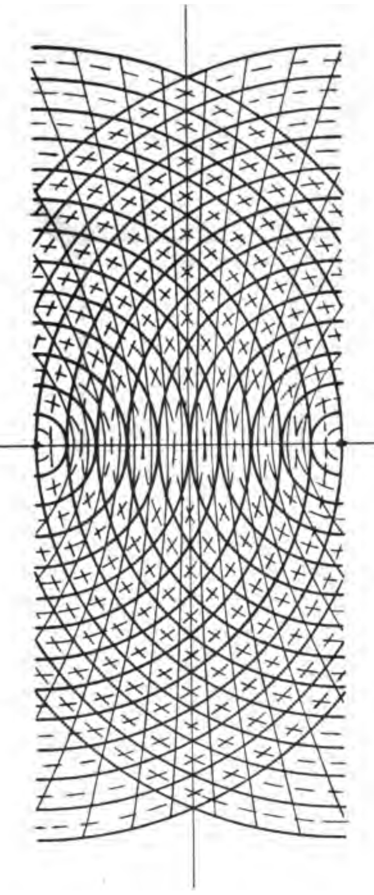


Fig. 158.

Interferenz. Man lasse von zwei Punkten aus kreisförmige Wellen von gleicher Periode entstehen, indem man entweder mit zwei Fingern oder mit einer am Hammer einer elektrischen Klingel angebrachten Doppelspitze gleichzeitig die Wasserfläche berührt, und beobachte die Gestalt der Kurven, in denen beide Wellensysteme interferieren (Fig. 158).

Man lege auf den Boden des Gefäßes eine dünne Bleiplatte, welche senkrecht nach oben eine feine Nähnadel trägt, schiebe die Nadel in eine der beobachteten Kurven und messe ihre Entfernungen von den beiden Wellenzentren. Dann verschiebe man sie längs dieser Kurve und wiederhole die Messungen für eine größere Zahl von Punkten. Durch welche Rechenoperation sind die beiden zueinandergehörigen Entfernungen zu vereinigen, damit für alle Paare von Messungen dieselbe konstante Größe herauskommt? Welche Kurve wird durch diese Eigenschaft definiert?

Interferenz reflektierter Wellen. Man wiederhole den für die Reflexion an der ebenen Zinkplatte angestellten Versuch und vergleiche die nach der Reflexion an der Platte entstehenden Hyperbeln mit den im vorigen Versuch erhaltenen. Von welchem Punkt müssen die reflektierten kreisförmigen Wellen zu kommen scheinen, damit diese Interferenz möglich ist? Wie liegen dieser Punkt und das Wellenzentrum zur Platte?

Stehende Wellen. Man lege einen geradlinigen Stab ins Wasser und erzeuge mit Hilfe eines parallel zu ihm gehaltenen Blattes eine periodische Wellenbewegung. Dabei reguliere man die Entfernung von Stab und Blatt so, daß sich stehende Wellen bilden.

Beugung. Man lege zwei längere Stäbe, 4—5 cm voneinander entfernt, in derselben Richtung ins Wasser, lasse von einem etwa 10 cm vor der dadurch gebildeten Öffnung befindlichen Punkt Kreiswellen ausgehen und beobachte, wie sie sich jenseits der Öffnung fortpflanzen, insbesondere innerhalb und außerhalb des durch die Verbindungslinie des Wellenzentrums mit der Begrenzung des Zwischenraumes gebildeten Winkels.

Man bilde entsprechend zwei Öffnungen, die durch irgendeine Wand ebenso weit voneinander entfernt sind, wie jede Öffnung breit ist, und beobachte außer den Wellen hinter jeder Öffnung auch die Wellen, welche sich hinter der Mittelwand innerhalb des *„geometrischen Schattens“* bilden.

---

138. Schwingungen tönender Körper. Man erzeuge einen Ton an einer Glocke, an einem teilweise mit Wasser gefüllten Weinglas, das man mit dem Violinbogen anstreicht, an einer Stimmgabel, an einem Saiteninstrument u. a. und konstatiere die Schwingungen durch Berührung mit der Hand oder dadurch, daß man ein kleines Pendel gegen den schwingenden Körper hält (Fig. 159) oder durch das Spritzen des Wassers.

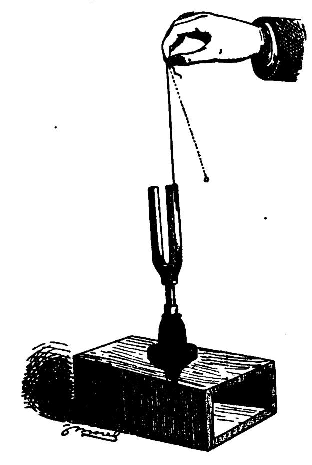


Fig. 159.



Fig. 160.

139. Manometrische Flamme. Über die Öffnung einer kleinen Holzschachtel spanne man eine Kautschukmembran; durch den Boden führen zwei rechtwinklig gebogene Glasröhren, von denen die eine eine ausgezogene Spitze besitzt. Der mit einer Röhre versehene Deckel wird auf der Schachtel durch Kautschukringe festgehalten (Fig. 160).

Man kann solche Kapseln auch aus 2 passend ausgeschnittenen Korkstücken herstellen (Fig. 161), die man nach Anbringung einer Gummimembran zusammenfügt.

Durch die Kaspel schicke man einen Leuchtgasstrom, den man an der ausgezogenen Spitze anzündet, und reguliere die Flamme auf eine Höhe von einigen Zentimetern. Mit der durch den Deckel gehenden Röhre verbinde man einen Schlauch, durch den man den Schall zuleitet.

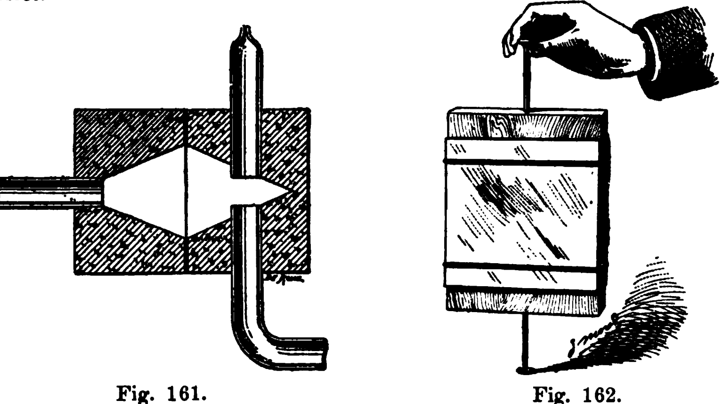


Fig. 161. Fig. 162.

Zu beiden Seiten eines Brettes befestige man mittelst Kautschukringe zwei gleichgroße Glasspiegel, in den beiden Endflächen zwei Nägel ohne Kopf, so daß deren Richtung die Rotationsachse darstellt (Fig. 162).

Man beobachte die Flamme in dem rotierenden Spiegel. Wie ändert sich das Flammenbild für die ruhig brennende Flamme, für irgendeinen Ton und seine Oktave.

Schickt man durch die Kapsel nicht Leuchtgas, sondern Azetylen, so werden die Flammenbilder so glänzend, daß man sie photographieren kann.

140. Empfindliche Flammen. 1. Man erzeuge durch den aus einer feinen Öffnung (ausgezogene Glasröhre) kommenden Leuchtgasstrom eine etwa 50 cm hohe Flamme und beobachte, wie diese bei Geräuschen mit grellen Tönen, z. B. beim Klappern eines Schlüsselbundes, breit und rauschend wird.

Die Flamme wird empfindlicher, wenn man statt Leuchtgas Wasserstoffgas benutzt, das man, um die Flamme leuchtend zu machen, durch eine mit Benzin gefüllte Flasche hat gehen lassen. Um den für die Flamme geeignetsten Gasdruck zu erhalten, verwende man zwei unten mit Tubus versehene und durch einen langen Kautschukschlauch verbundene Flaschen, von denen die eine mit verdünnter Schwefelsäure, die andere mit Zink gefüllt ist, so daß durch Höherstellen der ersten Flasche der Gasdruck reguliert werden kann.

2. Man erhält eine andere Art empfindlicher Flammen, wenn man Leuchtgas unter geringem Druck aus einer weiteren Öffnung, als bei der soeben gegebenen Methode nötig ist, ausströmen läßt und oberhalb eines etwas über der Öffnung befindlichen Drahtnetzes anzündet. Die Flamme verkürzt sich unter der Einwirkung gellender Töne.

141. Schallfeldabsucher. Um Töne, deren Schwingungen zu schwach sind, um sich durch die Luft bis in unser Ohr fortzupflanzen, feststellen zu können, kann man sich mit Vorteil eines Schallfeldabsuchers bedienen. An die drei Öffnungen eines T-Stückes bringe man Kautschukschläuche an. Die Öffnung des am Mittelstück befestigten Schlauches führe man über das Schallfeld, die Enden der beiden anderen Schläuche hänge man mittelst kleiner, rechtwinklig umgebogener Glasröhren in die Ohren. Es genügt häufig auch schon, daß man das andere Ende des über das Schallfeld geführten Schlauches direkt in ein Ohr hängt.

Man stelle mit diesem Apparat den Ton einer schwach klingenden Stimmgabel fest.

142. Fortpflanzung des Tones. Durch feste Körper. Die Schwingungen einer Stimmgabel übertrage man auf einen Resonanz-

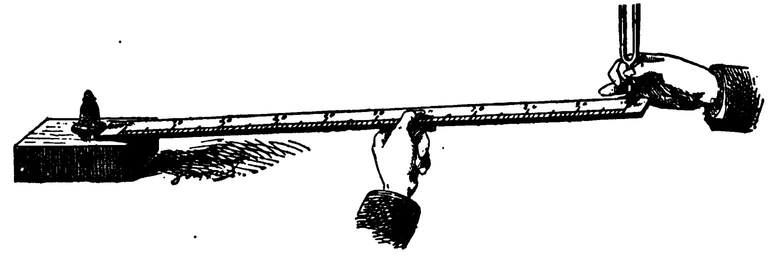


Fig. 163.

kasten, Tisch u. a. mit Hilfe eines Lineals, dessen Enden man fest gegen den Fuß der Stimmgabel und auf den Resonanzkasten drückt (Fig. 163).

Besonders gute Wirkung erzielt man durch Übertragung des Tones einer Violine auf eine im Nachbarzimmer stehende Violine, wenn man eine lange, an Fäden hängende Stange, die nirgends anstößt, auf beide Violinkästen stützt.

Wenn man den Fuß einer schwach klingenden Stimmgabel zwischen die Zähne nimmt, pflanzt sich der Ton durch Zähne und Knochen ins Ohr fort.

Durch Fäden. Man merkt sehr stark die Schwingungen eines festen Körpers, der gegen den Tisch stößt, wenn man die Enden des Fadens, an dem der Körper hängt, in beide Ohren hält (Fig. 164). — Mittels des Fadentelephons kann man sich mit leiser Stimme auf ziemlich große Entfernung unterhalten. Man stelle es einfach aus



Fig. 164.

zwei Serviettenringen mittelst Pergamentpapieres und ziemlich straff gespannter starker Fäden her.

Durch weiche und flüssige Körper. Man versuche den Ton einer Stimmgabel auf einen Resonanzkasten zu übertragen, indem man unter den Fuß der Stimmgabel Kork, Kautschuk oder Blei anbringt. — Man stelle auf den Resonanzkasten zwei Gläser mit Wasser; unter das eine lege man Gummi. Dann halte man den Fuß der Stimmgabel ohne bezw. mit Korkscheibe in das Wasser der Gläser und beachte den Unterschied in der Fortpflanzung des Tones. — Man zeige die Fortpflanzung eines Tones im Wasser mit Hilfe einer im Wasser stehenden Blechflöte, durch die man einen Wasserstrom schickt (Fig. 165).



Fig. 165.

Hinter ein vertikal hängendes Stück Zeug halte man, ohne zu berühren, eine schwingende Stimmgabel (Fig. 166). Mit Hilfe eines Schallfeldabsuchers prüfe man, ob die Schallwellen besser durch das Tuch hindurchgehen wenn es trocken ist, oder wenn es angefeuchtet wird.

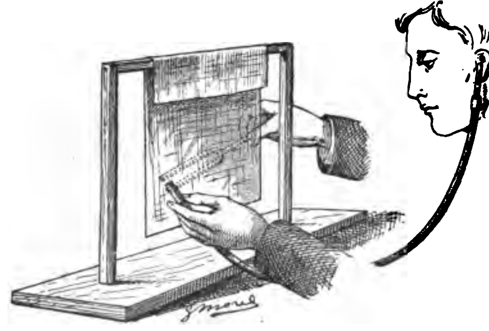
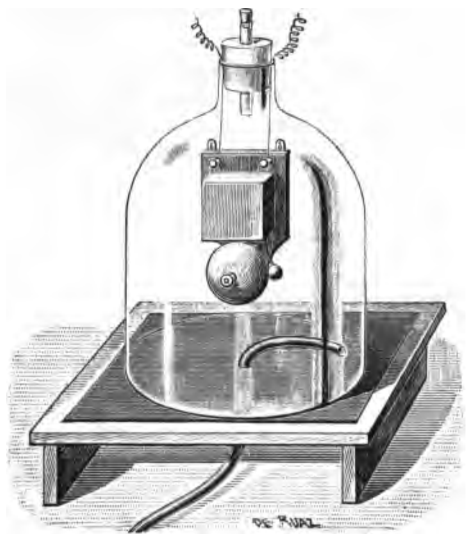


Fig. 166.

In Gasen. Eine elektrische Klingel hänge man an ihren Leitungsdrähten in eine auf Kautschuk oder Filz ruhende Glocke. Durch den den Hals der Glocke schließenden Stöpsel führe man eine kurze Glasröhre, durch eine Öffnung in der Unterlage einen Kautschukschlauch (Fig. 167). Man lasse die Klingel ertönen, wenn sich Luft in der Glocke befindet. Dann leite man von oben her Ammoniak oder von unten her Kohlensäure in die Glocke und beobachte die verschiedene Stärke des Tones.

In verdünnten Gasen. In einen größeren Glaskolben hänge man eine durch einen kleinen Leder- oder Kautschukring am Ende eines Metallstabes befestigte Glocke (Fig. 168). Man lasse in dem

Kolben etwas Wasser kurze Zeit kochen, schließe ihn luftdicht in dem Augenblick, da man die Flamme entfernt, lasse den Kolben sich abkühlen, damit die Dämpfe sich kondensieren und bringe dann durch Schütteln die Glocke zum Tönen. Man vergleiche die Stärke des Schalles mit der, die man erhält, wenn man Luft eindringen läßt.



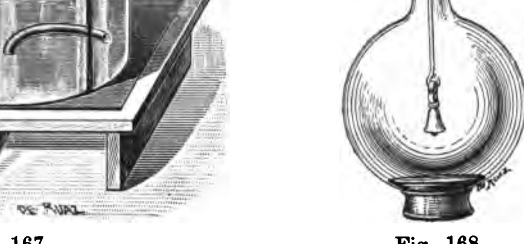


Fig. 167. Fig. 168.

Man zeige dieselbe Erscheinung, indem man die Glocke (Fig. 167) nebst elektrischer Klingel auf den Teller einer Luftpumpe setzt und die Luft in der Glocke verdünnt.

143. Reflexion des Schalles. Man befestige innerhalb eines Lampenschirmes, wie Fig. 169 zeigt, eine Taschenuhr etwas hinter dem Mittelpunkt der größeren kreisförmigen Öffnung und beachte die dadurch hervorgerufene Verstärkung der parallel heraustretenden Schallwellen.

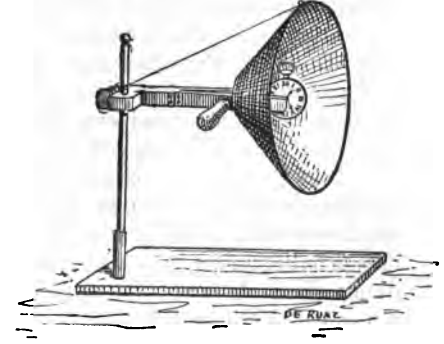


Fig. 169.

Man benutze als zweiten Reflektor einen aus starkem Papier gerollten Kegel, dessen Spitze man ins Ohr hält.

144. Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles. Man stelle sich etwa 330 m entfernt von einem Gehilfen auf, der nach dem Takt eines Sekundenpendels kräftig auf ein Brett schlägt, und stelle die Entfernung fest, bei welcher man einen Schlag hört, wenn man den Gehilfen den nächsten ausüben sieht.

In welche Entfernung muß man sich stellen, wenn der Gehilfe nach dem Takt eines Halbsekundenpendels schlägt?

Verfügt man über eine hinreichend große Wand, damit sich ein Echo bilden kann, so kann man den Versuch auch allein ausführen, indem man selbst nach dem Takt des Pendels auf das Brett schlägt und eine solche Entfernung von der Wand aufsucht, daß man das Echo mit dem nächsten Schlag zusammentreffen hört.

145. Interferenzröhren (Quincke). In einem auf einer Kautschukunterlage stehenden Stativ befestige man, gleichfalls mit Hilfe von Kautschuk, den Fuß einer Stimmgabel (Fig. 170), die einen möglichst grellen Ton gibt, mindestens a_1; zum Anschlagen benutze man einen aus

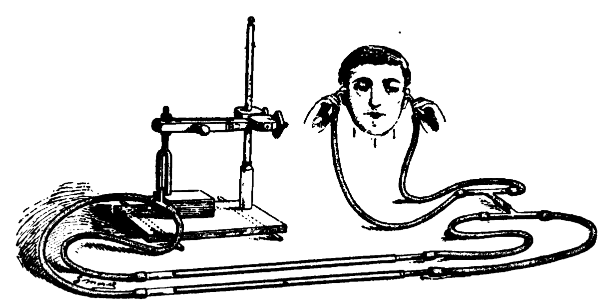


Fig. 170.

Kork an biegsamem Stiel hergestellten Hammer. Zwei Paare von Glasröhren, von denen je eine in der anderen verschiebbar ist, verbinde man durch Kautschukschläuche symmetrisch mit zwei T-Röhren. Das freie Ende des einen T-Stücks stelle man zwischen die Stimmgabelzinken. Das andere T-Stück verbinde man mit einem Schallfeldabsucher.

Man stelle die verschiebbaren Glasröhren so, daß die beiden, dem Ton zur Fortpflanzung dienenden Wege möglichst gleichlang sind und stelle fest, daß die so ermöglichte Vereinigung beider Wellensysteme der Stimmgabelarme einen stärkeren Ton gibt, als wenn nur einer der beiden Wege benutzt wird.

Man verlängere einen der Wege, indem man die Glasröhre auseinanderzieht. Um den wievielten Teil einer Wellenlänge müssen die durch das eine Rohr kommenden Schwingungen später am T-Stück des Schallfeldabsuchers ankommen, als die durch das andere Rohr, damit durch Zusammentreffen einer Verdünnung aus dem einen Rohr mit einer Verdichtung aus dem anderen Rohr nahezu völliges Verschwinden des Tones eintritt. Ganz wird dies wegen der fortklingenden Obertöne nicht eintreten.

Man messe die Verlängerung der herausgezogenen Röhre. Aus der so bestimmten halben Wellenlänge und der bekannten Schwingungszahl berechne man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Denselben Versuch wiederhole man mit der anderen Röhre.

146. Sirene. Auf einer kreisförmigen Scheibe aus weißem Kartonpapier zeichne man konzentrische Kreise von 33 bezw. 30, 27, 24 cm Durchmesser. Diese Kreise teile man in 24 bezw. 20, 16, 12 gleiche Teile und schlage um die so erhaltenen Punkte als Mittelpunkte mit dem Locheisen 0,5 cm weite Löcher. In die Mitte der Scheibe nagele man ein Stück Holz, welches man an der Achse eines Elektromotors (Ventilators) befestigt (Fig. 171). Zum Anblasen benutze man eine ausgezogene Glasröhre, die in Verbindung mit einem Gebläse steht.

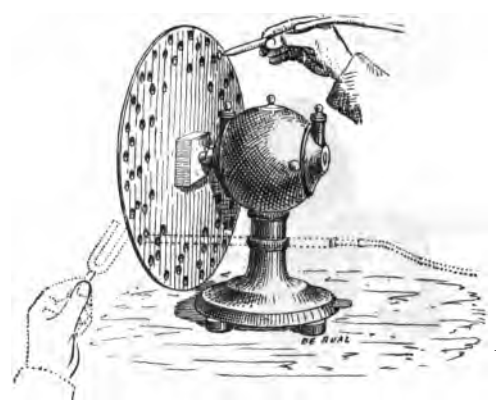


Fig. 171.

Man beachte, wie die Höhe eines Tones mit der Umdrehungsgeschwindigkeit der Sirene wächst. Man erzeuge denselben Ton, indem man die Lochreihen nicht anbläst, sondern die Ecke eines Kartenblattes an die Löcher hält.

Eine andere einfache Sirene erhält man, wenn man Zahnräder auf den Spuler einer Nähmaschine aufsetzt. Um die Umdrehungszahl zu bestimmen, bestimmt man zuerst die Übersetzung. Man zählt bei langsamem Drehen die Umdrehungen des Spulers, welche auf eine des Schwungrades kommt. Während des Versuches braucht man dann nur die Bewegungen des Fußes zu zählen.

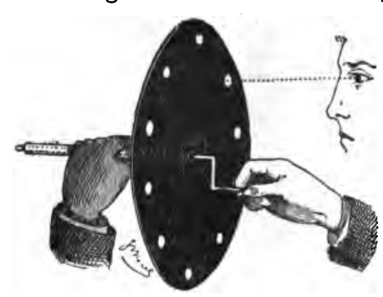
147. Stroboskopische Beobachtung isochroner Schwingungen. Man reguliere die Geschwindigkeit des Motors der Sirene (146) zuerst mit Hilfe eines Rheostaten, schließlich durch Berühren der Achse mit der Hand so, daß ein Ton der Sirene auf den eines gespannten Stahldrahtes oder einer auf ihrem Resonanzkasten befestigten Stimmgabel abgestimmt ist, und beobachte die Saite oder die Stimmgabel durch die betreffende Lochreihe hindurch. Da die Saite oder Stimmgabel während des Vorüberganges zweier Löcher der Sirene vor dem Auge eine ganze Schwingung ausführt, so sieht man durch jedes Loch stets dieselbe Phase, d. h. die Saite oder Stimmgabel erscheint unbeweglich.

Man setze die Beobachtung fort, indem man die Sirene schneller oder langsamer gehen läßt. Man sieht die Saite bezw. Stimmgabel langsam schwingen und zwar isochron mit den Schwebungen, welche man hört, wenn man den Schallfeldabsucher vor die Lochreihe hält, durch welche man beobachtet.

148. Bestimmung der Tonhöhe. Man reguliere die Umdrehungsgeschwindigkeit der Sirene so, daß man beim Anblasen irgendeiner Lochreihe den zu untersuchenden Ton, z. B. den einer Stimmgabel,

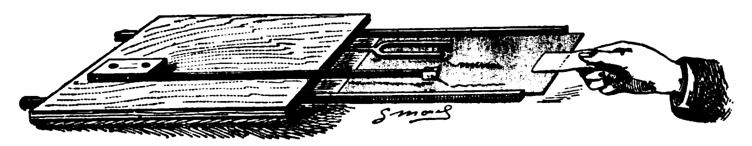
erhält. Dann berechne man aus der durch einen Tourenzähler zu bestimmenden Umdrehungszahl der Sirene und der Löcherzahl der angeblasenen Lochreihe die Schwingungszahl des Tones in einer Sekunde.

Verfügt man nicht über einen Tourenzähler, so kann man die Umdrehungszahl durch stroboskopische Beobachtung ermitteln. Man befestige eine kleinere Sirene, die nur eine Reihe von zehn 1 cm weiten Löchern besitzt und auf der ganzen dem Beobachter zugekehrten Fläche geschwärzt ist, auf einer zu einer Kurbel umgebogenen Metallachse (Fig. 172), deren anderes Ende sich in einer mit der Hand gehaltenen Metallröhre drehen kann. Man beobachte durch die Löcher dieser Hilfssirene die erste Sirene, von welcher man einen etwa den achten Teil der ganzen Fläche betragenden Sektor geschwärzt hat, und drehe die Kurbel so schnell, daß der geschwärzte Sektor unbeweglich erscheint. Dann bestimme man die in einer Sekunde vollführten Umläufe der Hand und berechne aus der gefundenen Zahl und der Löcherzahl der Hilfssirene die Umdrehungsgeschwindigkeit der ersten Sirene.


Fig. 172.

In der Zeit, in welcher sich die langsame Sirene um die gegenseitige Entfernung zweier Löcher bewegt hat, hat der geschwärzte Sektor der schnellen Sirene eine volle Umdrehung gemacht.

149. Graphische Bestimmung der Tonhöhe. Man nagele zwei Kantel so auf den Tisch, daß sie eine Gleitfläche für eine Glasplatte bilden (Fig. 173). Um diese bequem bewegen zu können, leime man an einem Ende ein Stück Kartonpapier an. Auf ein größeres Brett, das man hinter der Glasplatte über beide Kantel legt, schraube


Fig. 173.

man, nahe der Mitte des Randes, die Stimmgabel so auf, daß die Zinken den Kanteln parallel laufen. Hinten auf dies Brett schraube man ein kleines Holzstück, an welchem man einen federnden Stahlstreifen so befestigt, daß er ebenso weit wie die Stimmgabel über den vorderen Brettrand hinüberragt und in einer horizontalen Ebene schwingen kann. Am freien Ende des Stahlstreifens und an der einen Zinke der Stimmgabel bringe man mit Klebewachs je eine als Griffel dienende Borste an. Dem Stahlstreifen gebe man mit Hilfe

eines aufgesetzten Reiters aus Blei eine Schwingungsdauer von 0,5 Sekunden. Die Glasplatte beruße man über einer Kerzenflamme und bringe sie zwischen die Gleitschienen; dann lege man auf letztere das Brett und stelle die Griffel so, daß sie die Glasplatte leicht berühren.

Man hebe das Brett auf, bringe die Stimmgabel in starke Schwingungen, lege schnell, aber vorsichtig, das Brett wieder auf und lasse den Stahlstreifen schwingen. Dann ziehe man die berußte Glasplatte gleichmäßig vorwärts. Nach beendetem Versuch fixiere man die Zeichnungen und bestimme mit Hilfe der bekannten Schwingungszahl des Stahlstreifens die der Stimmgabel.

Wenn die Stimmgabel stark vibriert, überträgt sie ihre Schwingungen durch das beide tragende Brett auf den Stahlstreifen, so daß der Griffel des Stahlstreifens zwei Bewegungen verzeichnet hat, seine Eigenbewegung und die der Stimmgabel.

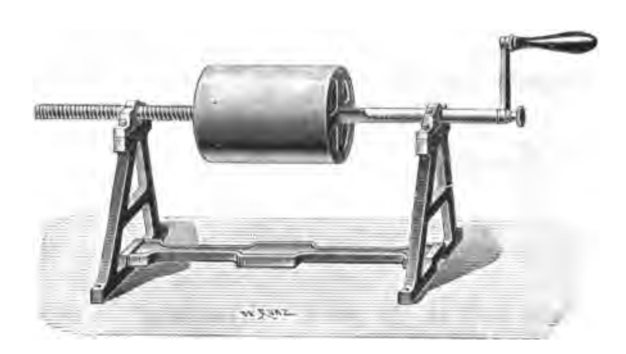


Fig. 174.

An Stelle der Glastafel kann man sich auch einer Trommel bedienen, die auf einer Achse mit Schraubenwindungen bewegt wird. Eine solche Trommel läßt sich aus einer Schachtel herstellen, wie sie zur Aufbewahrung von Muffen benutzt wird (Fig. 174).

150. Schwebungen. Man befestige an den Zinken einer von zwei gleichen Stimmgabeln etwas Wachs. Nach den Gesetzen des physischen Pendels (35) wird dadurch das Trägheitsmoment und damit die Schwingungszeit größer, die Schwingungszahl also kleiner und der Ton dumpfer. Läßt man beide Stimmgabeln gleichzeitig tönen, so bemerkt man ein An- und Abschwellen des Tones, Schwebungen. Aus der Zahl der Schwebungen in der Sekunde berechne man die Schwingungszahl der dumpferen Stimmgabel, wenn die der anderen bekannt ist, da die Schwebungen dadurch zustande kommen, daß bald die Verdichtungen beider Stimmgabeln zusammentreffen, bald die Verdichtung der einen mit der Verdünnung der anderen und daß im ersten Fall sich beide Stimmgabeln unterstützen, im anderen schwächen.

151. Graphische Darstellung von Schwebungen. Die Füße zweier recht kräftiger Stimmgabeln befestige man so in zwei schwere rechteckige Klötze, daß man sie horizontal hinlegen kann, ohne daß sie den Tisch berühren (Fig. 175). Auf die Zinke der einen klebe man mit Wachs ein Stück berußtes Kartonpapier, an der der anderen befestige man einen leichten, weichen Schreibstift; unter den Klotz der letzteren lege man eine Unterlage, so daß der Schreibstift gerade lose das Kartonpapier berührt. Man bringe erst die eine Stimmgabel, dann die andere und schließlich beide zum Tönen und bewege jedesmal schnell die eine parallel zum Papier. Es wird dann der Schreibstift Kurven aufzeichnen, welche die Schwingungen der Stimmgabeln einzeln und kombiniert darstellen.

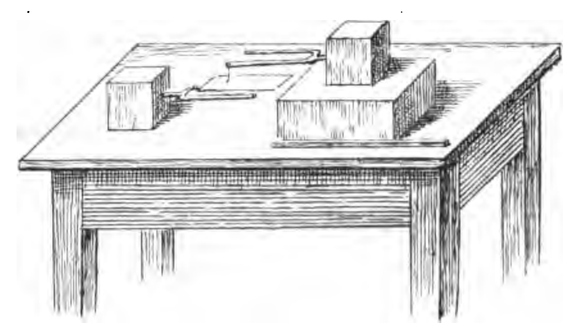


Fig. 175.

Man klebe nun an die grellere Stimmgabel soviel Wachs und Schrot, daß man schnelle Schwebungen hört. Zeichnet man die kombinierte Kurve, so wird man an ihr leicht die Zahl der Schwebungen erkennen können.

Stellt man die beiden Stimmgabeln so, daß die Richtungen der Zinken aufeinander senkrecht stehen, und bewegt man dann schnell die eine in einer unter 45° dazu geneigten Richtung, so erhält man sehr schöne, verschlungene Kurven, die man sich fixiere.

152. Offene und gedackte Pfeifen. Eine 2 cm weite Metall- oder Glasröhre schneide man auf die Länge von 60 cm, eine zweite etwas kürzer, eine dritte auf 30 cm. Zum Erzeugen der Töne benutze man eine kleine Pfeife (Spielzeugpfeife), welche man mit ihrem Mundstück als Verschluß in die eine Öffnung der Röhren steckt und welche man mit dem Munde oder mit Hilfe eines Gebläses anbläst.

Man blase die längste Röhre zuerst leise, dann immer kräftiger an und versuche außer dem Grundton die Folge der Obertöne zu erzeugen.

Dann wiederhole man denselben Versuch mit der etwas kürzeren Röhre. Sind deren Töne greller oder dumpfer? Man schiebe eine kleine, aus Kartonpapier hergestellte Röhre auf die eben benutzte Röhre, verlängere dadurch, während man den Versuch mit beiden

Röhren gleichzeitig wiederholt, allmählich die Röhre und achte auf die anfangs größere, dann immer kleiner werdende Zahl von Schwebungen, bis schließlich Gleichklang eintritt.

Man blase die dritte Röhre, die man, um eine gedackte Pfeife zu erhalten, am zweiten Ende durch einen Korkstöpsel verschlossen hat, zuerst leise, dann immer kräftiger an und vergleiche den Grundton und die Obertöne mit denen des ersten Versuches. Dann erzeuge man mit der gedackten Pfeife nur einen Ton und ziehe schnell den Korkstöpsel heraus. Welchen Schluß kann man aus diesen Versuchen auf die Längen einer gedackten und einer offenen Pfeife ziehen, wenn beide denselben Ton geben sollen?

Um auch für die gedackte Pfeife die Abhängigkeit der Tonhöhe von der Länge der Pfeife untersuchen zu können, entferne man den Korkstöpsel und halte die Röhre mit der Öffnung verschieden tief unter Wasser. Man kann auch die Öffnung durch einen Kautschukschlauch mit einem größeren, mit Wasser gefüllten Trichter verbinden und so nach dem Gesetz der kommunizierenden Röhren (63) der tönenden Luftsäule jede gewünschte Länge geben?

Verfügt man über mehrere auf einen Akkord abgestimmte Stimmgabeln, so erzeuge man für jede der beiden Pfeifen, deren Länge man, wie eben beschrieben, verlängert, einen durch Vergleich mit den Stimmgabeln genau abgestimmten Akkord, messe jedesmal die Länge und suche für jede Pfeife die Beziehung zwischen den durch die Stimmgabeln bekannten Schwingungszahlen und den zugehörigen Längen der tönenden Luftsäule.

Man stelle Versuche mit Metall- und Glasröhren von gleicher Länge, aber verschiedenem Durchmesser an und untersuche den Einfluß der Wände und der Röhrenweite auf die Tonhöhe.

Man lasse in einer Pfeife irgendeinen Ton erklingen und erwärme die Röhre über einem Bunsenbrenner. Wird der Ton greller oder dumpfer? War der Ton auf eine Stimmgabel abgestimmt, so achte man auf die bei der Erwärmung eintretenden Schwebungen.

153. Knoten und Bäuche in Pfeifen. 1. Aus einem weiten Glasrohr stelle man eine Orgelpfeife her, indem man an ihr eines Ende das Mundstück einer kleinen Pfeife setzt, und blase sie so stark an, daß man einen grellen Oberton erhält. Man lasse in die Röhre an einem langen Faden eine über einen Ring gespannte Membran aus Kautschuk, Tierblase oder dergl., die mit leichtem, trockenem Sand bestreut ist, hinab und stelle die Lage von Knoten und Bäuchen fest, indem man die Ruhe bezw. Bewegung des Sandes auf der Membran beobachtet.

2. Man schiebe einen an einem Glasstab befestigten Korken in die Röhre und beachte, an welchen Stellen der Korken stehen muß, damit die Röhre denselben Oberton gibt, den sie ohne Benutzung des kleinen Kolbens gab. An den Enden der Röhren wird die Bestimmung der Stellungen unsicher, da hier die Schwingungen er-

zwungene (127) sind. Man vergleiche die Stellung des Korkes mit der Stellung der Membran des vorigen Versuches.

3. Man schiebe eine Glasröhre, deren in dem Rohr befindliches Ende rechtwinklig umgebogen und deren andere Öffnung mit dem Schallfeldabsucher verbunden ist, in die Röhre (Fig. 176) und bestimme die Stellungen des umgebogenen Endes, bei denen man den Ton nur schwach hört. Man vergleiche wieder die Stellungen mit denen des ersten Versuches.

4. Man bediene sich an Stelle des Schallfeldabsuchers der manometrischen Flammen (139) und stelle durch das stärkere bezw.

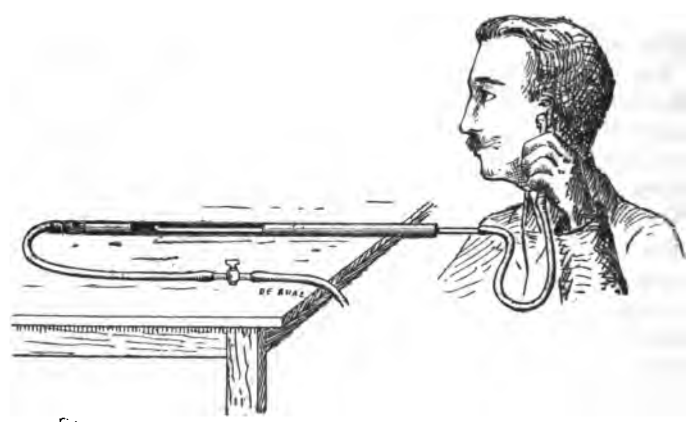


Fig. 176.

sehr geringe Erzittern der Flamme die Lage der Knoten und Bäuche fest; bei diesen Versuchen ist es vorteilhafter, dumpfere Töne zu benutzen.

5. Man bringe in einer solchen Orgelpfeife in der Seitenwand Löcher an den Stellen an, wo sich die Bäuche befinden. Wie hat sich hierdurch der Ton geändert? Jede Flöte bestätigt diese Erscheinung.

Man beantworte aus allen Versuchen die Frage, an welchen Stellen, Knoten oder Bäuchen, der größte Wechsel in der Verdichtung und Verdünnung der Luft, an welchen dagegen die größten Bewegungen der schwingenden Luftteilchen stattfinden.

154. Singende Flamme (chemische Harmonika). Man lasse Wasserstoffgas oder Leuchtgas aus einer feinen Spitze ausströmen und halte über das Flämmchen eine Glasröhre. Durch Probieren suche man die zum Ertönen nötige Größe der Flamme und ihre Stellung in der Röhre. Durch Verlängerung der Röhre mit Hilfe eines Zylinders aus Pappe ändere man die Tonhöhe. Mit dem rotierenden Spiegel beobachte man die verschiedenen Flammenbilder.

Man benutze zwei völlig gleiche Röhren und achte auf die starken Schwebungen. Man versuche die beiden Flammen zum Gleichklang zu bringen.

155. Messung der Wellenlänge. Die Wellenlänge eines Tones kann man aus den Versuchen über Knoten und Bäuchen ermitteln; die gegenseitige Entfernung zweier Knoten oder zweier Bäuche gibt die halbe Wellenlänge (128).

Eine andere Methode bietet die Kundt'sche Röhre (Fig. 177). Das eine Ende einer weiten Glasröhre verschließe man durch einen Korkstöpsel, der sich mit Hilfe eines Stieles ein wenig in der Röhre verschieben läßt. In der anderen Öffnung befestige man einen Korkstöpsel, durch den ein Stab oder eine Röhre aus Messing, Eisen, Glas u. a., welche an dem inneren Ende eine flache Korkscheibe trägt, bis zur Hälfte hindurchgeht. In das im Innern sorgfältig getrocknete Rohr bringe man durchgesiebten Korkstaub, Bärlappsamen oder Kieselerde; das Rohr lege man wagerecht.



Fig. 177.

Reibt man das herausragende Ende des Stabes mit einem mit pulverisiertem Kolophonium bestreuten Tuch, so gerät er in Longitudinalschwingungen, die sich durch die Korkscheibe der eingeschlossenen Luft mitteilen. Durch vorsichtiges Verschieben der beweglichen Korkscheibe suche man die günstigste Stellung aus, damit sich der Staub an den Bäuchen in feinen Querlinien, an den Knoten in Häufchen ansammelt. Die Entfernung zweier aufeinanderfolgenden Knoten oder zweier Bäuche gibt wieder die halbe Wellenlänge des Tones in der Luft.

Man kann dieselben Versuche auch anstellen, indem man den Ton durch eine in der Röhre befestigte kleine Pfeife erzeugt.

Aus der gemessenen Wellenlänge und der Tonhöhe berechne man die Fortpflanzungsgeschwindigkeit des Schalles.

156. Fortpflanzungsgeschwindigkeit in Gasen. Man bestimme für irgendeinen Ton Höhe und Wellenlänge in Luft nach einer der besprochenen Methode (148, 150, 155) und berechne die Fortpflanzungsgeschwindigkeit.

Man bestimme in einer Pfeife oder in der Kundtschen Röhre, die man mit Wasserstoff, Leuchtgas oder Kohlensäure gefüllt hat, die Wellenlänge und berechne die Fortpflanzungsgeschwindigkeit. Beim Einfüllen des Gases lasse man es, um das vorher benutzte auszutreiben, längere Zeit hindurchstreichen.

Man vergleiche die Quadrate der Fortpflanzungsgeschwindigkeit aller vier Gase mit den spezifischen Gewichten.

157. Tonhöhe einer Saite. Um die Schwingungsgesetze von Saiten kennen zu lernen, benutze man ein Monochord (Fig. 178), einen länglichen Kasten, auf welchem die Saiten zwischen zwei als Stegen dienenden Kanteln durch Gewichte gespannt werden; auf die oberen Längsränder klebe man auf Papier gezeichnete Maßstäbe.

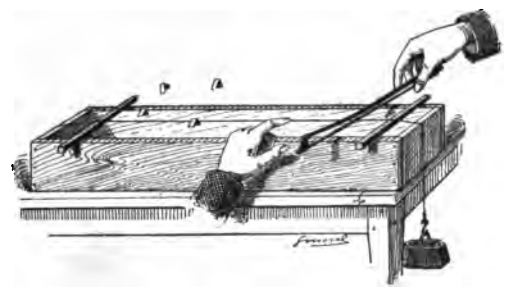


Fig. 178.

Abhängigkeit von der Länge. Man lasse durch Verkürzung des Drahtes die Töne der Tonleiter erklingen und vergleiche, auf den Grundton bezogen, die relativen Längen der Saite mit den relativen Schwingungszahlen.

Abhängigkeit von dem spannenden Gewicht. Man lasse die Länge des Drahtes unverändert, ändere aber die Größe des spannenden Gewichtes derart, daß die Saite die Töne der Tonleiter gibt und vergleiche, auf den Grundton bezogen, die relativen Schwingungszahlen mit der Quadratwurzel aus der Größe der spannenden Gewichte.

Man untersuche den Einfluß des spannenden Gewichtes auf die Tonhöhe durch stroboskopische Beobachtung (147), indem man zuerst zwei nebeneinander gespannte gleichlange Drähte zum Gleichklang bringt und bei der Beobachtung durch die entsprechende Lochreihe feststellt, daß beide Saiten unbeweglich erscheinen. Dann verringere man das eine Gewicht, z. B. auf ein Viertel, beobachte durch dieselbe Lochreihe wie vorher und beobachte, ob der unveränderte Draht wieder in einer Stellung, der andere dagegen in zwei Stellungen, nämlich den äußersten Stellungen seiner Schwingungsform, unbeweglich erscheint. Dann beobachte man durch eine Lochreihe, welche auf den veränderten Draht abgestimmt ist, und zeige, daß nun beide Drähte nur in einer Stellung unbeweglich erscheinen. Zur Erleichterung dieser Beobachtungen mache man die Drähte durch Schmirgelpapier blank.

Abhängigkeit von dem Gewicht der Längeneinheit. Man spanne gleichlange, aber verschieden dicke Stahldrähte, ferner gleichlange Drähte aus verschiedenem Material, z. B. Messingdrähte, Hartkupferdrähte oder die Quintsaite der Violine durch dasselbe Gewicht, bestimme die Tonhöhe und messe das Gewicht gleichlanger Stücke dieser Drähte. In welcher Beziehung steht die Tonhöhe zum Gewicht der Längeneinheit?

Berechnung der Tonhöhe. Man bringe eine Stahldrahtsaite in Gleichklang mit einer Stimmgabel, indem man die Saite zuerst

etwas dumpfer stimmt, dann unter Beachtung der Schwebungen (150) immer greller stimmt, bis Gleichklang eintritt. Dann berechne man die Schwingungszahl des Tones nach der Formel: $z = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{gP}{p}}$, worin L die Länge, P das spannende Gewicht, p das Gewicht der Längeneinheit der Saite und g die Erdbeschleunigung, und vergleiche das Resultat mit dem durch die Stimmgabel erkannten Wert.

158. Obertöne. Man lasse auf dem Monochord die verschiedenen Obertöne erklingen, indem man mit dem Finger die Saite auf $^1/_2$, $^1/_3$, $^1/_4$ usw. ihrer Länge fest berührt und den kleineren Teil der Saite anstreicht.

Man hindere während des Anstreichens den größeren Teil am Schwingen und zeige, daß die Töne weiterklingen, wenn man ihn wieder freigibt.

Man berühre die Saite nur leise und beachte, daß Grund- und Oberton gleichzeitig klingen.

Das Schwingen der Saite in mehreren Teilen zeige man, indem man auf die Saite an den Knotenpunkten und an den Bäuchen kleine Papierreiter aufsetzt (vgl. Fig. 178).

159. Longitudinalschwingungen in Saiten und Stäben. Auf das Monochord spanne man zwei gleichlange Drähte von verschiedenem Durchmesser und verschiedener Spannung. Man streiche mit einem mit Kolophoniumpulver bestreuten Tuche an ihnen entlang und erzeuge so Longitudinalschwingungen. Wie hängt die Tonhöhe von Drahtstärke und Spannung ab?

Man erzeuge in einem Stahlstab, der dieselbe Länge wie die Drähte besitzt, Longitudinalschwingungen, indem man den Stab in der Mitte festhält. Der Stab gibt denselben Grundton, muß also in der Mitte einen Knoten, an den Enden Bäuche haben. Entspricht der Stab einer offenen oder einer gedackten Pfeife, die ihren Grundton gibt?

Man befestige den Stab mit dem einen Ende im Schraubstock und erzeuge wieder Longitudinalschwingungen. In welcher Beziehung steht der gehörte Ton zu dem des vorigen Versuches? In welcher Beziehung stehen jetzt Stab- und Wellenlänge? Man vergleiche wieder Stab und Pfeife und auch die schwingende Spirale (127).

Um den Einfluß der Stablänge auf die Tonhöhe für longitudinal schwingende Stäbe zu erkennen, schneide man noch drei Stahlstäbe so, daß sie mit dem ersten einen Akkord geben und bestimme die Verhältnisse der Längen.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit im Stahl bestimme man, indem man einen in der Mitte oder am Ende eingeklemmten Stab oder eine auf das Monochord gespannte Saite in Longitudinalschwingungen versetzt, die Tonhöhe mit Sirene oder Stimmgabel ermittelt und aus Schwingungszahl und Wellenlänge die Fortpflanzungsgeschwindigkeit berechnet.

160. Transversalschwingungen von Stäben. Man spanne einen Stahlstab von rechteckigem Querschnitt auf verschiedene Längen, etwa $^1/_2$, $^1/_3$, $^2/_3$ usf. der Gesamtlänge in den Schraubstock (Fig. 179) und stelle die Beziehung zwischen Schwingungszahl und Länge fest.

An Stäben von gleicher Länge, gleicher Breite, aber verschiedener Dicke untersuche man die Abhängigkeit von der Dicke.

Ebenso bestimme man den Einfluß der Breite auf die Schwingungszahl.

Auf Grund der gefundenen Beziehungen schneide man aus hartem Holz vier gleichdicke Brettchen von solcher Länge, daß sie, auf den Tisch geworfen, einen Akkord geben. Man verfertige aus Glasplatten, die auf die einfache Tonleiter abgestimmt sind, eine

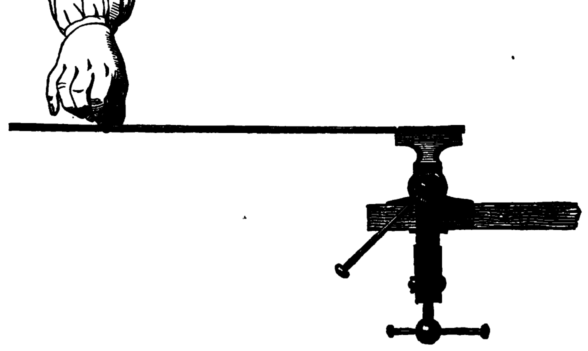


Fig. 179.

Glasharmonika, indem man die Glasplatten auf zwei Holzleisten aufleimt; zum Schlagen der Platten benutze man einen Korkhammer.

Man befestige an beiden Zinken einer Stimmgabel gleichmäßig wachsende Belastungen, lasse die Stimmgabel zugleich mit einer unbelasteten tönen, mit der sie vorher im Einklang war und zeichne die Kurve, welche die Zahl der Schwebungen als Abszissen, die Gesamtbelastungen als Ordinaten enthält.

Dann verschiebe man dieselbe Belastung an beiden Zinken nach unten und untersuche graphisch die Zahl der Schwebungen als Funktion der Entfernungen der Belastungen von den freien Enden. Man bestimme aus der Kurve die Lage der beiden Knotenpunkte.

161. Abhängigkeit der Tonhöhe von der Temperatur. Man erwärme von zwei gleichgestimmten Stimmgabeln die eine einige Minuten in kochendem Wasser, trockne sie schnell ab, lasse sie zusammen mit der andern Stimmgabel tönen und verfolge die Abkühlung mit Hilfe der Schwebungen.

162. Interferenzerscheinungen der Stimmgabel. 1. Man schiebe über die eine Zinke einer Stimmgabel eine Metallröhre. Wird dadurch der Ton der Gabel kräftiger oder schwächer?

2. Zu beiden Seiten einer Stimmgabel stelle man zwei Reißbretter so auf, daß sich die Zinken in der Richtung des Zwischenraumes bewegen, also nicht anstoßen können. Die Höhe wähle man so, daß die Zinken nur soweit hervorragen, daß man sie gerade anschlagen kann. Vom Mittelpunkt zwischen den Zinken, den man sich durch ein von Reißbrett zu Reißbrett gelegtes Brettchen fixiert, zeichne man eine Reihe konzentrischer Kreise auf das aufgespannte Papier; man bringe die Stimmgabel zum Tönen, bewege das offene Ende des T-Stückes des Schallfeldabsuchers auf jedem Kreise einmal herum und markiere die Stellen, an denen der Ton am schwächsten ist. Verbindet man die auf den Kreisen markierten Stellen miteinander, so erhält man eine durch die Erscheinung der Interferenz bedingte Hyperbel, deren Brennpunkte in den Zinken liegen (vgl. Fig. 158).

163. Chladnische Klangfiguren. 1. Man erzeuge auf einer quadratischen Messing- oder Glasplatte, die auf einem Federhalter oder Bleistift mit Klebewachs befestigt und mit feinem Sand bestreut ist, ein gerades oder schiefes Kreuz, indem man die Platte an einer Ecke oder in der Mitte einer Seite mit dem Finger berührt und mit einem kleinen Metallstab in der Mitte bezw. nahe dem Ende einer Seite vorsichtig klopft, bis sich der Sand in den Knotenlinien gesammelt hat. — 2. Man bringe ebenso auf einer runden Messing- oder Glasplatte ein Kreuz und einen sechsstrahligen Stern hervor. — 3. Mit Hilfe eines Schallfeldabsuchers untersuche man die Schwingungen über der Platte, indem man nur einen Schlauch zum Ohr führt und die beiden andern Schlauchöffnungen über die Platte hält. Über welche Quadranten der Platte müssen die Schlauchöffnungen gehalten werden, damit man eine Verstärkung oder Auslöschung des Tons erhält? — 4. Man erzeuge, wie im ersten Versuch, eine Figur, indem man die Platte in der Mitte einer Seite berührt und an einer der gegenüberliegenden Ecken klopft, so daß die Platte sich in vier Abschnitte teilt. Ein an einem Nagel befestigtes Blatt Kartonpapier, aus dem man, wie Fig. 180 zeigt, zwei Sektoren herausgeschnitten hat, lege man so auf die Platte, daß zwei gegenüberliegende Quadranten bedeckt sind. Warum hört man jetzt einen kräftigeren Ton?

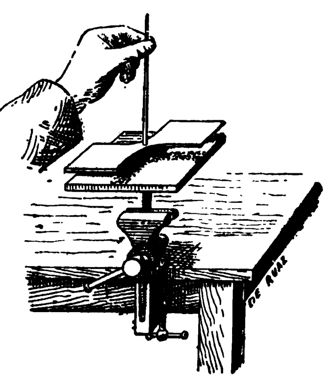


Fig. 180.

164. Resonanz. Man versuche die Luft in einer mit einer passenden Menge Wasser gefüllten Flasche durch eine Stimmgabel zum Mittönen zu bringen. Man zeige dieses Mittönen durch eine manometrische Flamme, indem man die Verbindung durch eine enge Glasröhre herstellt (Fig. 181),

die durch den Tubus der Flasche bis nahe an die Oberfläche des Wassers geht (153).

Man benutze als Resonator eine weithalsige Flasche und zeige, daß die Luft für verschiedene Töne mittönt, wenn man die weite Öffnung durch eine Glasplatte mehr oder weniger verschließt (Fig. 182).

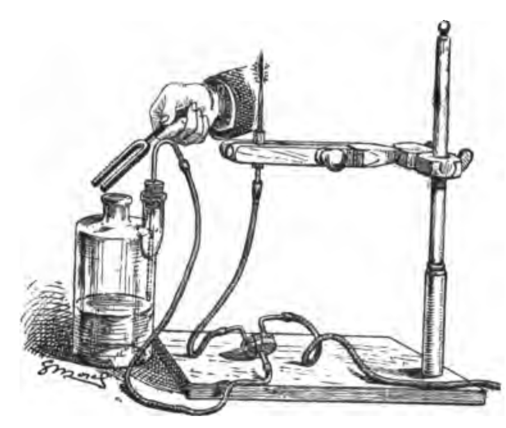


Fig. 181.

Man streiche eine von zwei auf das Monochord gespannten, aufeinander abgestimmten Saiten an und berühre sie dann mit der Hand; die andere Saite klingt weiter. Man wiederhole den Versuch, wenn die beiden Saiten nicht aufeinander abgestimmt sind.

Dieselben Versuche stelle man mit zwei Stimmgabeln an.

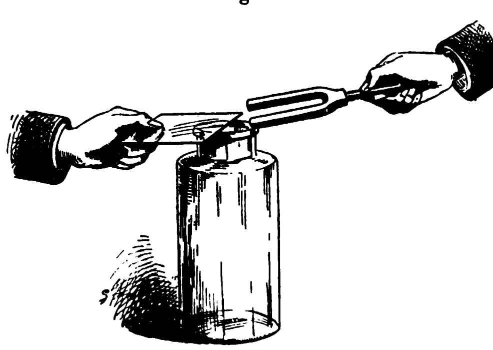


Fig. 182.

---

165. Klangfarbe des Klaviers. Man singe in das geöffnete Klavier, bei Beseitigung des Dämpfers, einen Vokal in bestimmter Tonhöhe, z. B. c_1, den Ton lange anhaltend und suche, wenn man zu singen aufgehört hat, die noch weiter mitklingenden Saiten zu erkennen.

Man schlage die Taste c_1 kräftig an, berühre die zugehörige Saite und untersuche, welche Obertöne weiterklingen. Wie ändert sich die Klangfarbe, wenn man die Obertöne am Mitschwingen verhindert.

166. Die menschliche Stimme. Man singe die verschiedenen Vokale in einem etwas tiefen Ton, etwa c_1, bei wenig geöffnetem Munde und untersuche die erzeugten Schwingungen mit Hilfe der manometrischen Flamme und des rotierenden Spiegels (139).

167. Das Gehör. Man stelle mit Hilfe eines Tourenzählers die Umdrehungsgeschwindigkeit einer Sirene fest, bei welcher noch ein Ton statt einzelner Luftstöße vernommen wird, und bestimme aus der Löcherzahl der benutzten Reihe die Höhe dieses Tones.

Man blase auf der Sirene die äußerste und innerste Loch-

reihe, ferner alle vier Lochreihen gleichzeitig oder hintereinander an und achte auf den Wohlklang.

Man spanne auf das Monochord zwei gleiche Saiten, bringe sie zuerst zum Gleichklang, ändere die Spannung der einen so, daß man keine Schwebungen hört, und streiche dann beide Saiten gleichzeitig an. Man beachte den Mißklang beider Töne.

Man vergleiche für den Wohlklang und für den Mißklang die Schwingungszahlen der zusammenklingenden Töne.

168. Abhängigkeit der Tonhöhe von der Geschwindigkeit der Schallquelle (Dopplersches Prinzip). Man befestige eine Pfeife an einem Kautschukschlauch, durch den die Luft in die Pfeife geblasen wird, und lasse sie durch einen Gehilfen wie eine Schleuder herumführen. Man stelle sich einmal gerade vor den Mittelpunkt der Schwingungsebene, das andere Mal in diese. Welche Veränderungen in der Tonhöhe bemerkt man? Will man sich diese Erscheinung klar machen, so bedenke man, daß die vom Ohr empfundene Tonhöhe durch die Zahl der unser Ohr in der Sekunde treffenden Schwingungen bestimmt wird, gleichgütig, wieviel der tönende Körper in der Sekunde erzeugt.

An einer von zwei gleichgestimmten, auf ihren Resonanzkästen stehenden Stimmgabeln befestige man so viel Wachs, daß man, wenn beide gleichzeitig tönen, in der Sekunde etwa vier Schwebungen hört. Man lasse durch einen Gehilfen die eine Stimmgabel auf Armeslänge sich sehr schnell der andern nähern oder von ihr entfernen und stelle sich selbst in die Ebene beider Stimmgabeln etwas entfernt von der ruhenden stehend. Wie ändert sich die Zahl der Schwebungen?

VI. Wärme.

169. Temperaturempfindung. Man halte die Hand in ein mit lauwarmem Wasser gefülltes Gefäß und achte auf die Empfindlichkeit der Hand gegenüber Temperaturänderungen. — Man beachte ferner die verschiedenen Temperaturempfindungen der Hände, wenn zunächst die eine in warmes, die andere in kaltes, dann beide gleichzeitig in laues Wasser gehalten werden. — Man fasse einen Holz- und einen Eisenstab, welche längere Zeit nebeneinander in einem sehr kalten oder sehr heißen Raume gelegen haben, gleichzeitig an.

Welchen Schluß kann man aus diesen Beobachtungen auf die Bedeutung unseres Gefühlssinnes für die Beurteilung der Temperatur eines Körpers ziehen?

170. Herstellung eines Thermometers. Kalibrieren des Rohres. Will man ein Thermometer herstellen, so hat man zunächst das Rohr, ein dickwandiges Kapillarrohr, zu kalibrieren, d. h. seinen Durchmesser an den verschiedenen Stellen festzustellen. Man mache ungefähr in der Mitte des Rohres eine feste Marke, am besten indem man mit einer Feile einen leichten Strich einfeilt oder ein Papier mit einem Bleistiftstrich herumklebt, bringe dann in das Rohr einen Tropfen Quecksilber, dessen Länge man bei verschiedenen Entfernungen von der Marke mißt. Nimmt man an, daß das Rohr auf die Länge des Tropfens genau zylindrisch ist, so erhält man aus dem Gewicht des Tropfens, dem spezifischen Gewicht des Quecksilbers und der Länge des Tropfens den mittleren Durchmesser des Rohres für diese Stelle. Man zeichne in Koordinatenpapier als Abszissen die Entfernungen der Mitte des Tropfens von der Marke und als Ordinaten die zugehörigen Durchmesser und verbinde die Punkte durch eine Kurve, aus welcher man dann die Durchmesser für jede Stelle des Rohres entnehmen kann. Zur Kontrolle lasse man mehrere Tropfen von verschiedenem Gewicht die verschiedenen Lagen im Rohr einnehmen und bestimme jedesmal den Durchmesser.

Um bei der Messung der Länge des Quecksilberfadens die namentlich bei dickwandigen Rohren schädliche Parallaxe zu vermeiden, lege man das Rohr auf einen Spiegel und halte das Auge so, daß sich das Ende des Quecksilbers mit seinem Spiegelbild deckt. Der Maßstab muß so weit unter das Rohr geschoben sein, daß man in derselben Stellung des Auges auch ablesen kann.

Blasen und Füllen. Ist das Kalibrieren fertig, so wird an dem einem Ende des Rohres eine Kugel angeblasen. Hat man ein dickwandiges Rohr genommen, so ist ein Zusammenstauchen von Glas nicht nötig, wohl aber muß man aufpassen, daß man unten nicht einen zu großen Tropfen Glas bekommt. Man umgeht diese Schwierigkeit, indem man zunächst nur ein ganz kurzes Stück Rohr glühend macht, so daß sich das Rohr gerade schließt, und dann sofort ein wenig aufbläst. Erst dann macht man soviel Glas weich, wie man zur Kugel nötig zu haben glaubt, und bläst diese.

Um das Thermometer mit Quecksilber zu füllen, taucht man das noch offene Rohr in eine nahezu vollständig mit Quecksilber gefüllte Schale und erwärmt die in der Kugel enthaltene Luft. Es wird dadurch ein Teil derselben ausgetrieben, wie man an den kleinen, durch das Quecksilber aufsteigenden Bläschen merkt. Das Ende des Rohres darf deshalb nur wenig eintauchen. Läßt man die Kugel sich abkühlen, so steigt das Quecksilber in die Höhe; während des Kühlens halte man das Rohr so flach wie möglich, aber natürlich so, daß seine Öffnung stets unter Quecksilber bleibt. Ist, selbst wenn die Kugel ganz abgekühlt ist, kein Quecksilber in sie eingedrungen, so schlage man mit der Wurzel der das Rohr haltenden rechten Hand auf die linke Faust, es wird dann sicher etwas Quecksilber in die nach unten gehaltene Kugel fallen. Dann erwärme und kühle man wieder und fahre so fort, bis die Kugel gefüllt ist. Die letzten Reste Luft verdrängt man, indem man das in der Kugel befindliche Quecksilber zum Kochen bringt und wieder, die Öffnung des Rohres unter Quecksilber, abkühlt.

Nachdem die Kugel gefüllt ist, schneidet man das Rohr auf passende Länge, indem man die Kugel in Wasserdämpfe hält und 1—2 cm oberhalb der vom Quecksilber eingenommenen höchsten Stelle eine Marke macht. Hier schneidet man ab. Dann stellt man die Kugel in kochendes Wasser, dem man allmählich Chlorkalzium zusetzt; hat man die Länge des leeren Rohres vorher nicht zu groß gewählt, so kann man es erreichen, daß bei passender Menge Chlorkalzium die Kuppe des Quecksilberfadens gerade aus dem Rohr hervorsieht; dann schmilzt man das Rohr von oben her zu, indem man die Gebläselampe in die Hand nimmt. Man kann auch, statt das Rohr abzuschneiden, es an der markierten Stelle ausziehen; es schmilzt sich dann leichter zu.

171. Die Fixpunkte des Quecksilberthermometers. Nullpunkt. Man stelle einen mit Schnee oder fein zerstoßenem Eis gefüllten Trichter (Fig. 183) in eine weithalsige Flasche, bringe das Thermometer soweit in den Schnee, daß man die Quecksilberkuppe noch gerade sicher ablesen kann, und drücke diesen leicht an. Nachdem das Thermometer die Temperatur des Eises angenommen hat, lese man diese ab. Dabei

Fig. 183.

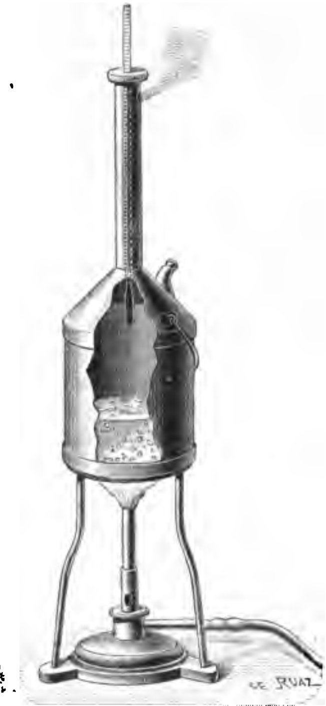


Fig. 184.

suche man, um möglichst genau ablesen zu können, den parallaktischen Fehler zu vermeiden, indem man hinter das Thermometer einen Spiegel hält (170).

Ist der Nullpunkt noch nicht markiert, so muß man seine Entfernung von der noch am Thermometerrohr befindlichen Marke suchen und nachher durch einen Feilstrich festlegen.

Siedepunkt. Als Siedegefäß kann man eine Ölkanne von etwa 1 Liter Inhalt benutzen (Fig. 184). Man schließe ihre an der Seite befindliche Ausflußöffnung und befestige im Hals eine eng anschließende Messingröhre, in welche man mit Hilfe eines gut schließenden Korkstöpsels das Thermometerrohr einführt; nahe dem oberen Ende der Messingröhre bohre man als Ausgang für die Dämpfe ein Loch, das soweit sein muß, daß im Innern des Gefäßes kein Überdruck entsteht. Man fülle den Kessel mit destilliertem Wasser und schiebe das Thermometer so weit herunter, daß die Kugel nahe der Oberfläche im Dampf steht. Mit der Ablesung warte man, bis der Stand der Quecksilbersäule sich nicht mehr ändert.

172. Vergleich von Thermometern. Man stelle verschiedene Thermometer, z. B. ein Fieberthermometer, ein Weingeistthermometer, ein gewöhnliches Quecksilberthermometer und ein geeichtes Normalthermometer in ein mit Wasser gefülltes Gefäß und beobachte bei langsamem Erhitzen die Verschiedenheit der Temperaturangaben.

Man stelle sich aus derselben Kapillaren mehrere Thermometer mit verschieden großen Quecksilberbehältern her und vergleiche ihre Empfindlichkeit bei kleinen Temperaturschwankungen.

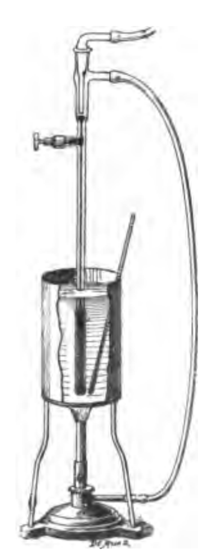


Fig. 185.

173. Thermostat. In dem in Fig. 185 abgebildeten Thermostaten strömt das Gas von oben her durch eine spitz zulaufende Glasröhre, welche in das obere, erweiterte Ende eines einem Thermometer ähnlichen Rohres mit großem Quecksilberbehälter fest eingefügt ist, und entweicht dann durch ein an dieses Rohr rechtwinklig angeschmolzenes Glasstück in den Bunsenbrenner. Eine am Thermometerrohr seitlich angebrachte Schraube kann das Quecksilber so nahe an die Spitze

der Glasröhre drücken, daß nur durch ein am oberen Ende dieser Röhre befindliches feines Loch etwas Gas entweichen kann.

Will man durch einen solchen Thermostaten eine bestimmte Temperatur einer Flüssigkeit konstant erhalten, so stelle man ihn nebst einem Thermometer in diese Flüssigkeit und drehe die Schraube weit zurück. Hat man die gewünschte Temperatur erhalten, so reguliere man mit Hilfe der Schraube die erforderliche Gaszufuhr.

---

174. Ausdehnung fester Körper. 1. Eine bei kalter Temperatur genau durch einen Ring gehende Kugel bleibt auf diesem liegen, nachdem sie erhitzt ist. — 2. Man erwärme einen aus Kupfer und Stahl zusammengelöteten Streifen oder eine aus solchen Streifen hergestellte Spirale. In welchem Sinne erfolgt die Krümmung? — 3. Man biege ein ungefähr 30 cm langes, schmales Messingblech so, daß die beiden ungefähr 5 cm langen Enden vertikal nach oben stehen. Zwischen diese klemme man einen Metallstab von solcher Länge, daß er gerade gehalten wird. Erwärmt man dann das Mittelstück des Messings, so fällt der Metallstab heraus. — 4. Eine recht dünnwandige Messingröhre lege man auf zwei Unterlagen. Auf das eine Ende stelle man ein Gewicht (Fig. 186); das andere Ende lasse man auf einer mit einem leichten Zeiger aus Papier oder Stroh versehenen dünnen Stricknadel ruhen, die auf einer mit Wachs an der Unterlage befestigten Glasplatte liegt. Man erhitze die Metallröhre und beobachte die Bewegung des Zeigers. — 5. Um zwei auf einem längeren Brett befestigte Klemmschrauben spanne man einen Kupferdraht, dessen Enden man zusammendreht, so daß ein in die eine Schraube eintretender galvanischer Strom durch die beiden einander parallelen Zweige gehen kann (Fig. 187). Man lege einen sehr leichten Stab unter die Mitte der einen Drahthälfte und auf die Mitte der anderen, so daß er, etwa mit einem Drittel überragend, als Hebel dienen kann, und beobachte, wie dieser Zeiger sich schon bei der geringsten Erwärmung des Drahtes durch den elektrischen Strom bewegt. — 6. Man befestige an den Enden eines kräftig ausgezogenen Drahtes je ein S-Stück, hänge ihn unter einer

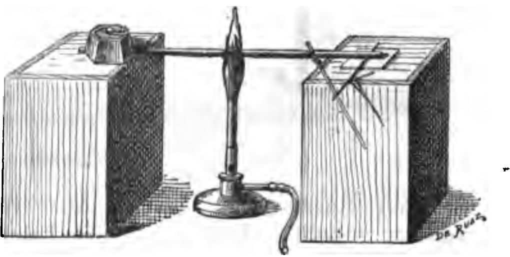


Fig. 186.

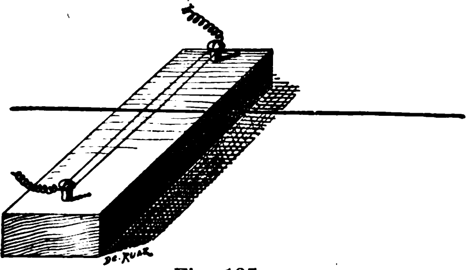


Fig. 187.

Tischkante vertikal auf und spanne ihn durch ein schweres Gewicht (Fig. 188). In die Biegung des unteren S-Stückes lege man eine leichte Glasröhre, so daß das kurze Ende unterhalb einer zwischen den Tischbeinen angenagelten Leiste gestützt wird und das als Zeiger

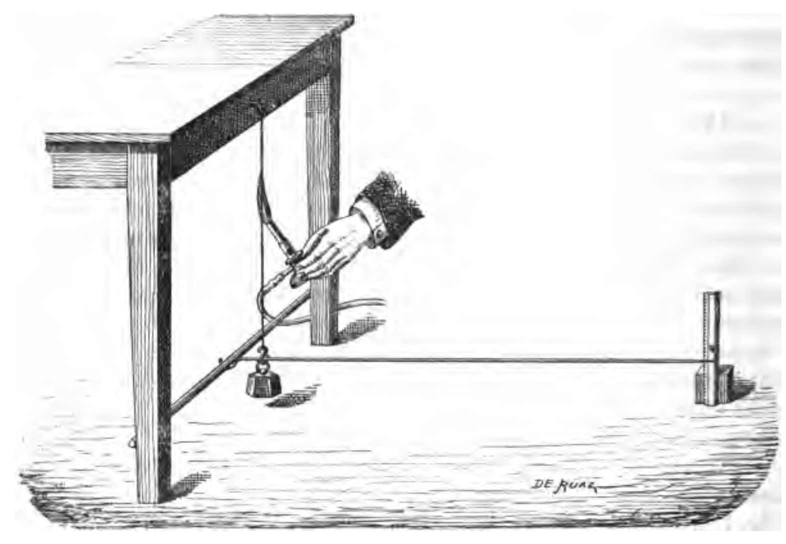


Fig. 188.

dienende längere Ende bei der Ausdehnung des Drahtes vor einem vertikal gestellten Maßstab spielen kann. Man erwärme den Draht durch die Flamme eines Bunsenbrenners oder durch einen galvanischen Strom und beobachte die Bewegung des Zeigers.

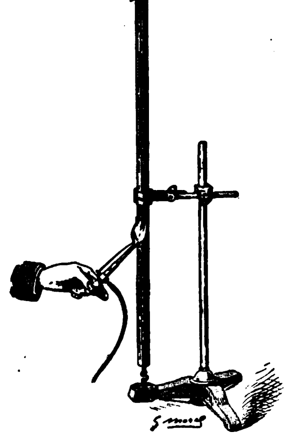


Fig. 189.

175. Zusammenziehung eines Kautschukschlauches. Man befestige an den Enden des Schlauches zwei Häkchen und hänge an das eine ein Gewicht, das ihn etwa auf das Dreifache seiner Länge ausdehnt. Dann führe man den Schlauch durch eine Metallröhre, an deren oberem Rande man ihn mit Hilfe eines durch das Häkchen gesteckten Stiftes aufhängt (Fig. 189). Man erwärme die Röhre, darauf achtend, daß Schlauch und Röhre sich nicht berühren, und beobachte, wie der Schlauch sich zusammenzieht.

Um die Zusammenziehung des Schlauches besser verfolgen zu können, kann man am unteren Ende eine Zeigervorrichtung (174, 6) anbringen.

176. Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten eines Messing- oder Glasrohres. Man löte das Messingrohr nahe den Enden in je eine Zinkplatte (Fig. 190) und umwickle es, um die Wärmeabgabe an die Umgebung zu vermeiden, schraubenförmig mit Watte oder Flanell. Um ferner das Abfließen des Wassers zu erleichtern, lege man das Rohr etwas geneigt. Zuerst schicke man Eiswasser, dann

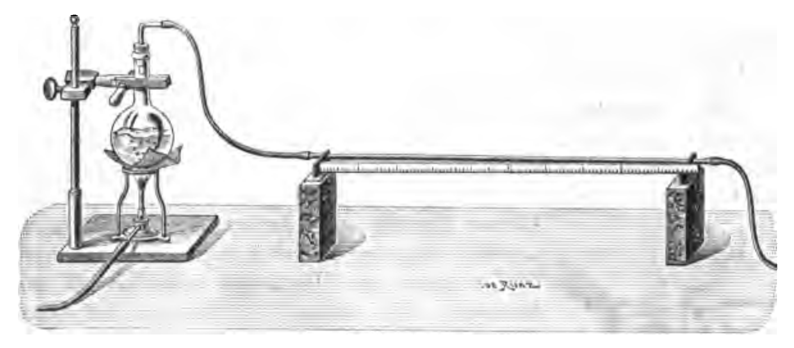


Fig. 190.

einen Dampfstrom einige Minuten lang hindurch. Aus dem Unterschied der Temperaturen und dem der zwischen den beiden Zinkplatten zu messenden Längen des Rohres berechne man den linearen Ausdehnungskoeffizienten, d. h. die Zahl, welche angibt, um den wievielten Teil der Länge bei 0^0 das Rohr sich bei Erwärmung um 1^0 ausgedehnt hat.

Die Genauigkeit des Resultates wird erhöht, wenn man je ein Ende zweier gleichlangen Röhren in eine gemeinschaftliche und die anderen Enden in je eine selbständige Zinkplatte lötet (Fig. 191). Damit beide Röhren dieselbe Anfangstemparatur besitzen, schicke

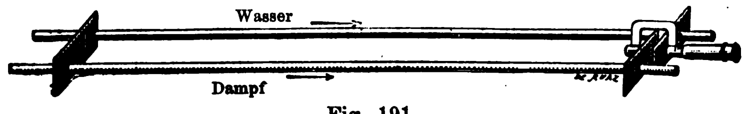


Fig. 191.

man zuerst durch beide Eiswasser. Dann schicke man durch die eine Eiswasser, durch die andere den Dampfstrom. Mit dem Palmermaß oder der Schublehre (7) messe man die Änderung der Entfernung der beiden einzelnen Zinkplatten.

Um die Versuche in gleicher Weise mit Glasröhren anstellen zu können, kitte man auf die Enden Messinghülsen und löte an diese die Zinkplatten.

177. Ausdehnung von Flüssigkeiten. Man gieße in einen hohen Standzylinder heißes Petroleum, bringe eine kleine verschlossene Flasche hinein, die durch Sand oder Schrot so beschwert

ist, daß sie gerade noch bis an den Boden des Standglases sinkt, und beobachte das Verhalten der Flasche bei der allmählich eintretenden Abkühlung, die man durch Eintauchen des Zylinders in eine Kältemischung möglichst weit treibt. Erfährt die Flüssigkeit oder das Glas die größere Änderung des spezifischen Gewichtes? — Man sprenge eine kleine, ganz mit Wasser gefüllte und dicht verschlossene Kochflasche durch Erhitzen. — Warum läßt man beim Aufbewahren gefüllter Flaschen unterhalb des Stopfens einen kleinen mit Luft gefüllten Raum?

178. Ausdehnungskoeffizient von Flüssigkeiten. 1. Kommunizierende Gefäße. An den Rand eines Tisches schraube man zwei kleine Holzplatten (Fig. 192), die V-förmig gekerbt sind, so daß zwei Glasröhren zwischen Tischrand und Holzplatte unter Benutzung kleiner Kautschukstückchen fest eingeklemmt werden können; zwischen beiden Röhren befestige man am Tischrand ein Lineal mit Maßstab. Die unteren Öffnungen der Glasröhren verbinde man durch zwei rechtwinklig gebogene Röhrchen und einen mit Quetschhahn versehenen Kautschukschlauch; die eine Röhre umgebe man mit etwa 150 Windungen eines Eisendrahtes, dessen beide Enden zu zwei am Tische befestigten Klemmschrauben führen. Man bringe in beide Röhren Petroleum und hänge mittels Drahtschlingen Thermometer hinein.

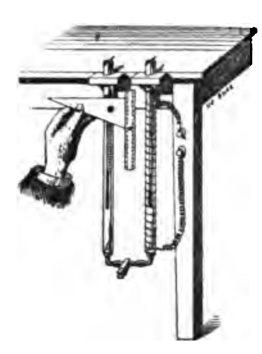


Fig. 192.

Durch einen starken galvanischen Strom erwärme man das Petroleum der einen Röhre bis etwa 150°. Dann verringere man die Stromstärke so weit, daß die Temperatur nahezu konstant bleibt, führe in jeder Röhre durch Bewegung des Thermometers gleichmäßige Verteilung der Temperatur herbei, stelle die Verbindung beider Röhren her und messe am Maßstab den Höhenunterschied beider Flüssigkeitsoberflächen und die Höhe der erwärmten Flüssigkeit. Man berechne den Ausdehnungskoeffizienten durch Benutzung des Satzes, daß in kommunizierenden Röhren die Höhen der Flüssigkeitssäulen sich umgekehrt wie die spezifischen Gewichte verhalten (72).

2. Fadendilatometer. Man fülle eine Flasche von bekanntem Volumen (9) mit Petroleum, schließe sie mit einem durchbohrten Stopfen, stecke ein kalibriertes (170) Rohr hinein und stelle die Flasche in ein mit Eiswasser gefülltes Wasserbad (Fig. 193). Um der Flasche Standfestigkeit zu geben, lege man um ihren Hals einen aus einer Bleiröhre gebogenen Ring; auf den Boden des Wasserbades lege man ein Drahtdreieck. Man lese die Einstellung des Flüssigkeitsfadens im Rohr ab, erwärme das Bad auf eine andere Temperatur, welche man mit Hilfe des Thermostaten (173) konstant erhält, und lese wieder

die Einstellung im Rohr ab. Aus dem Unterschied beider Einstellungen und dem Durchmesser des Rohres berechne man die Volumenzunahme des Petroleums. Aus dem Unterschied der Temperaturen und der eben gefundenen Volumenzunahme bestimme man den (scheinbaren) kubischen Ausdehnungskoeffizienten (176), d. h. die Zahl, welche angibt, um den wievielten Teil seines Volumens bei 0° das Petroleum sich nach dieser Messung bei Erwärmung um 1° ausgedehnt hat.



Fig. 193.

Es ist bei dieser Messung nicht berücksichtigt worden, daß sich auch das Volumen der Flasche infolge der Ausdehnung des Glases vergrößert. Wie erhält man die wahre Ausdehnung des Petroleums, wenn der kubische Ausdehnungskoeffizient des Glases zu 0,000 025 angenommen wird, und welchen Wert erhält danach der wahre Ausdehnungskoeffizient des Petroleums?

3. Gewichtsdilatometer. Man ersetze in der Anordnung des vorigen Versuches das kalibrierte Rohr durch eine kurze und enge, ⊓-förmig gebogene Röhre, in welcher man die Flüssigkeit bei 0° bis zum äußeren Ende reichen läßt, fange das nach Erwärmung ausgeflossene Petroleum in einer kleinen Flasche auf und bestimme das Gewicht des ausgeflossenen und das des zurückgebliebenen Petroleums. Unter Berücksichtigung, daß die absoluten Gewichte zweier Flüssigkeiten von demselben spezifischen Gewicht sich wie ihre Volumina verhalten, berechne man zunächst den scheinbaren und dann den wahren Ausdehnungskoeffizienten des Petroleums.

179. Dichtigkeitsmaximum des Wassers. 1. In einen mit Wasser von Zimmertemperatur gefüllten Maßzylinder stelle man mit Hilfe eines Korkstöpsels zwei Thermometer, von denen das eine bis nahe an den Boden, das andere nur bis unter den Stöpsel reicht (Fig. 194). Das Ganze bringe man in eine aus Wasser, Eis und Kochsalz hergestellte Kältemischung. Von Zeit zu Zeit nehme man den Maßzylinder vorsichtig heraus und lese die Temperaturen bis auf Bruchteile eines Grades genau ab. Man zeichne dann die beiden Kurven, welche die durch

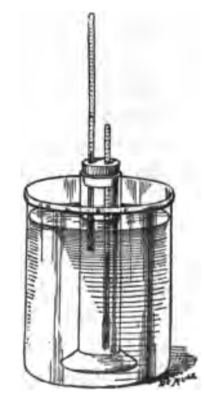


Fig. 194.

die Thermometer angegebenen Temperaturen als Ordinaten und die Beobachtungszeiten als Abszissen enthalten. Wie ergibt sich aus beiden Kurven die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums?

Man stelle den Versuch in umgekehrter Weise an, indem man in den Maßzylinder Wasser von 0° bringt und dieses sich in heißem Wasser erwärmen läßt.

2. Eine Kochflasche (Fig. 195) fülle man ganz mit reinem Wasser und verschließe sie durch einen gut passenden Korkstöpsel, durch den ein Thermometer, eine längere Glasröhre und eine kurze, mit Hahn versehene Kupferröhre gehen, bei geöffnetem Hahn, damit das überschüssige Wasser entweichen kann. — Um sich von der Ausdehnung des Glases unabhängig zu machen, bestimme man das Volumen der Flasche. Der kubische Ausdehnungskoeffizient von Glas ist 0,000 025, der von Wachs 0,000 680, also 27 mal so groß als der erstere; den wievielten Teil des Hohlraumes muß man mit Wachs anfüllen, damit die Flasche in bezug auf die Wärmeausdehnung kompensiert ist?

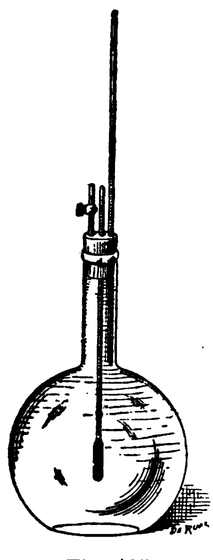


Fig. 195.

Man lasse die Flasche in fein zerstoßenem Eis stehen, bis das Wasser eine Temperatur von 0° angenommen hat. Dann schließe man, nachdem man, wenn nötig, Wasser nachgefüllt hat, den Hahn, nehme die Flasche heraus und lasse sie sich in anderem Wasser wieder langsam erwärmen. Aus den vorgenommenen Messungen der Temperatur und der Länge des Wasserfadens zeichne man die Kurve, welche die Ausdehnung des Wassers als Funktion der Temperatur darstellt. Welcher Punkt der Kurve gibt die Temperatur des Dichtigkeitsmaximums des Wassers?

180. Scheinbare Ausdehnung der Luft. Galileis Thermoskop. Man tauche den langen, engen Hals einer Glaskugel in ein Gefäß mit gefärbtem Wasser, erwärme die Kugel so stark, daß einige Luftblasen austreten, und lasse sie sich dann wieder auf Zimmertemperatur abkühlen. Es steigt dabei das Wasser im Hals in die Höhe. Aus der Stellung des Wassers schloß Galilei auf die Temperatur. Schon wenn man die Hand an die Kugel legt, bewirkt man ein Fallen des Wassers.

Beobachtet man genau, so sieht man, namentlich wenn man mit sehr heißen Händen die ganze Kugel plötzlich umschließt, zuerst ein kleines Steigen und nachher erst das Fallen des Wassers. Warum?

181. Ausdehnungskoeffizient eines Gases. Gewichtsdilatometer. Eine zu Dichtigkeitsmessungen dienende Glaskugel (Fig. 196) fülle man mit trockener Luft, indem man die Kugel mehrere Male vorsichtig durch eine Flamme zieht und dann schnell durch einen

Schlauch mit einem mit Chlorkalzium gefüllten Glasrohr verbindet, wodurch die infolge Abkühlung in die Kugel einströmende Luft getrocknet wird. Dann befestige man die Kugel auf einer Unterlage, erhitze sie einige Minuten lang in kochendem Wasser, schmelze die Spitze in der Flamme eines Bunsenbrenners zu, nehme die Kugel aus dem heißen Wasser heraus und wäge sie nach erfolgter Abkühlung bis auf ein Zehntelgramm genau. Dann tauche man sie mit nach unten gerichteter Spitze in einen Eimer, der mit Eiswasser gefüllt ist, und breche die Spitze ab, so daß das Wasser in die Kugel einströmen kann. Beim Herausnehmen der Kugel achte man darauf, daß in demselben Augenblicke, in welchem die Spitze aus dem Wasser herauskommt, die Wasserflächen innerhalb und außerhalb der Kugel in derselben Ebene stehen, so daß die noch in der Kugel verbleibende Luft unter dem atmosphärischen Luftdruck steht. Dann trockne man die Kugel und bestimme von neuem das Gewicht. Aus der Differenz beider Wägungen berechne man das Volumen, um welches sich die Luft bei Abkühlung von 100^0 auf 0^0 zusammengezogen hat. Dann bestimme man das Volumen der Kugel bei 0^0 und aus dem Verhältnis beider Resultate dividiert durch den Unterschied von 100^0 und 0^0 den Ausdehnungskoeffizienten der Luft. — Die Ausdehnung des Glases kann man unberücksichtigt lassen, da sie, verglichen mit der der Luft, unbedeutend ist.

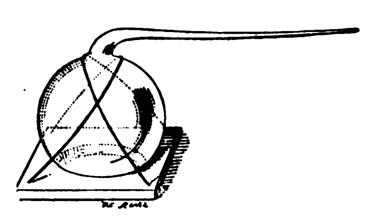


Fig. 196.

Man fülle die Kugel mit anderen Gasen, bestimme deren Ausdehnungskoeffizienten und vergleiche sie untereinander und mit dem der Luft.

Fadendilatometer. Man bereite sich eine Anzahl enger Glasröhren (2—4 mm weit) so weit vor, daß sie sich leicht zuschmelzen lassen (vergl. Fig. 30 *B*), trockne sie innen sorgfältig, lasse dann unter Vorschalten einer Chlorkalziumröhre einen kräftigen Strom von Leuchtgas bezw. Wasserstoff, Kohlensäure, Ammoniak usw. hindurchgehen und schmelze, wenn man glaubt, alle Luft herausgetrieben zu haben, schnell zu. Dann erwärme man, das offene Ende unter Quecksilber, die Röhre ein wenig, um eine Gasblase entweichen und nach erfolgter Abkühlung einen Quecksilbertropfen eintreten zu lassen, der nachher, wenn die Röhre umgedreht wird, gleichzeitig als Verschluß und als Zeiger für die Ausdehnung des Gases dienen kann.

Man stelle die Röhren in ein mit Wasser und einigen Eisstückchen gefülltes Standglas (Fig. 197), bringe in ihnen die Quecksilbertropfen in gleiche Höhe, indem man mit einem feinen Glasfaden hineinfährt, und messe die Länge

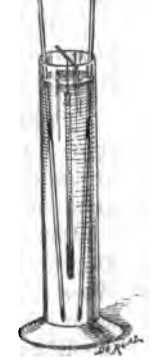


Fig. 197.

der Gassäulen. Dann ersetze man das kalte Wasser durch laues, dieses durch heißes und wiederhole die Messungen von Länge und Temperatur, berechne die Ausdehnungskoeffizienten der verschiedenen Gase und vergleiche sie miteinander.

Wenn α den gefundenen Ausdehnungskoeffizienten und v_0 das Volumen bedeutet, welches eine Gasmenge bei 0^0 einnimmt, welches Volumen v nimmt sie dann bei t^0 ein?

182. Druckkoeffizient der Gase. In eine über der Flamme getrocknete tubulierte Flasche bringe man Quecksilber bis zu 2 cm Höhe (Fig. 198). Durch den Hals führe man eine in das Quecksilber tauchende weite Röhre, durch den Seitentubus eine mit Hahn versehene Glasröhre. Die beiden Stopfen müssen sehr sorgfältig eingepaßt werden und luftdicht schließen.

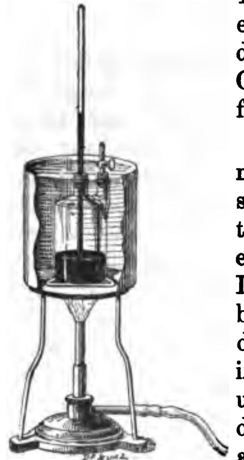


Fig. 198.

Man lasse den Apparat bei geöffnetem Hahn mehrere Minuten lang in Eiswasser stehen, schließe, nachdem Temperaturausgleich eingetreten ist, den Hahn und setze die Flasche in einem sie völlig umgebenden Wasserbad auf ein Dreieck aus Eisendraht. Dann erwärme man bis zum Sieden, lasse dieses längere Zeit andauern, markiere die Oberfläche des Quecksilbers im Rohr durch ein Kautschukschlauchstückchen und nehme den Apparat heraus. Aus der Höhe der Marke über der Oberfläche des Quecksilbers auf dem Boden berechne man die Druckzunahme der Luft für 1^0. Man vergleiche den hieraus mittels des am Barometer abgelesenen Anfangsdruckes berechneten Druckkoeffizienten mit dem in Nr. 181 gefundenen Ausdehnungskoeffizienten.

Man wiederhole den Versuch mit Kohlensäure, welche man — damit alle Luft hinausgetrieben wird — längere Zeit bei geöffnetem Hahn durch das lange Rohr in die Flasche strömen läßt.

Wenn α den gefundenen Druckkoeffizienten und p_0 den Druck bedeutet, unter dem eine Gasmenge bei 0^0 steht, welchen Druck p erfährt dann dasselbe Volumen bei t^0?

183. Zustandsgleichung der Gase. Die längere Röhre des zum Nachweis des Boyleschen Gesetzes (105) benutzten Apparates, in welcher man wieder eine kleine Luftmenge abschließt, umgebe man mit einem an beiden Enden durch je einen doppelt durchbohrten Stopfen verschlossenen, weiten Glasrohr. Durch die eine Durchbohrung des oberen Stopfens geht eine die Zuführung von Wasserdampf gestattende Glasröhre, durch die andere ein Thermometer; durch die eine Durchbohrung des unteren Stopfens führt die Röhre des Apparates, durch die andere eine kurze, mit Schlauch und Quetschhahn versehene Abflußröhre für das im Rohr befindliche

Wasser. Für die folgenden Versuche fülle man das weite Rohr der Reihe nach mit Eiswasser, dann mit Wasser von Zimmertemperatur, von 30°, 50°, 80° und leite zuletzt einen Dampfstrom durch das Rohr. Vor jeder Ablesung warte man kurze Zeit, bis Temperaturausgleich eingetreten ist.

Bei konstantem Druck. Man messe für irgend einen Druck das Volumen der abgeschlossenen Luftmenge bei 0°. Dann beobachte man bei jeder neuen Füllung des weiten Rohres für denselben Druck, den man vor jeder Ablesung reguliert, die zueinandergehörigen Werte von Volumen nnd Temperatur. Um die gesetzmäßige Abhängigkeit des Volumens von der Temperatur erkennen zu können, dividiere man den Unterschied des Volumens bei der Versuchstemperatur und bei 0° durch die Versuchstemperatur und vergleiche die erhaltenen Werte. Bezeichnen wir diese konstanten Werte mit a, das Volumen bei 0° mit v_0, bei t^0 mit v, welche Form nimmt dann das gefundene Gesetz an? Man löse diese Gleichung nach v auf und gebe ihr die Form $v = v_0 (1 + \frac{a}{v_0}) t$.

Man wiederhole dann dieselben Versuche für ein anderes Anfangsvolumen, bestimme wieder die Konstante und den Bruchwert beider und vergleiche die gefundenen Werte miteinander und mit der in Nr. 181 ermittelten Konstanten. Welche Bezeichnung und welche Bedeutung wird man der Größe $\frac{a}{v_0}$ geben dürfen, und wie lautet demnach allgemein die Zustandsgleichung der Gase bei konstantem Druck?

Bei konstantem Volumen. Man messe, wenn die abgeschlossene Luft die Temperatur Null angenommen hat, nicht das Volumen, sondern irgendeinen (kleinen) Druck p_0 (105). Dann beobachte man bei jeder neuen Füllung für dasselbe Volumen, das man wieder vor jeder Ablesung reguliert, die zueinandergehörigen Werte von Druck und Temperatur. Man stelle in ähnlicher Weise wie vorher den Druck als Funktion der Temperatur dar, indem man die vorkommende Konstante mit b bezeichnet, vergleiche die gefundene Formel mit der in Nr. 182 gefundenen und zeige durch Berechnung des Bruchwertes $\frac{b}{p_0}$, daß diese Formel die Zustandsgleichung der Gase bei konstantem Volumen darstellt.

Allgemeine Zustandsgleichung. Man lese für die verschiedenen Füllungen die zueinandergehörigen Werte von Volumen, Druck und Temperatur ab, stelle in genau entsprechender Weise wie vorher das Produkt von Volumen und Druck als Funktion der Temperatur dar und vergleiche, wenn die gefundene Konstante mit c bezeichnet wird, den Bruchwert $\frac{c}{p_0 v_0}$ mit den früheren, bei konstantem Druck bezw. bei konstantem Volumen gefundenen Ausdrücken. Ist man hiernach berechtigt, die allgemeine Zustandsgleichung der Gase in der Form: $p v = p_0 v_0 (1 + \alpha t)$ zu schreiben?

184. Schmelzpunkt. 1. Verfügt man nur über geringe Mengen des zu prüfenden Stoffes, so schmelze man ein Stückchen an das untere Ende eines Thermometers und bringe dieses mittels eines Korkstöpsels in ein Reagenzglas (Fig. 199). Man erwärme vorsichtig über einer Flamme, das Glas beständig drehend, bis die Erwärmung des Luftbades den Stoff zum Schmelzen bringt, und lese die Temperatur ab. — 2. Man schmelze in einem zur Hälfte gefüllten Reagenzglase Stearin oder Naphthalin über einem Bunsenbrenner, lasse erkalten und messe, das Reagenzglas beständig schüttelnd, von Minute zu Minute die Temperaturen. Man bestimme den Schmelzpunkt graphisch aus der Kurve, welche die Zeit als Abszisse, die Temperatur als Ordinate enthält. — 3. In einem gußeisernen Schmelztiegel oder in einer kleinen eisernen Pfanne oder — bei vorsichtigem Erhitzen — in einem Gefäß aus schwerschmelzendem (böhmischem) Glase schmelze man Zinn, mit einem Holzstab andauernd umrührend. Wenn das Metall geschmolzen ist, tauche man ein bis mindestens 360° zeigendes Thermometer hinein, welches man vorsichtshalber vorher angewärmt hat, verlösche die Flamme und verfolge das Sinken der Temperatur. Man konstruiere die Abkühlungskurve und bestimme aus ihr den Schmelzpunkt.

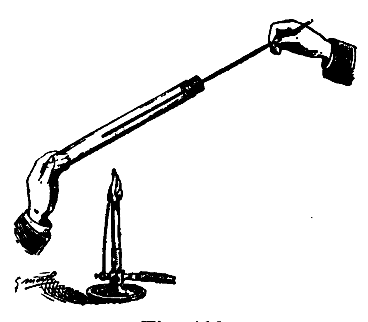


Fig. 199.

185. Schmelzpunkt von Legierungen. Man wiederhole den letzten der in Nr. 184 angestellten Versuche für eine abgewogene Menge, z. B. 200 gr, füge 30 gr Blei hinzu, bestimme den Schmelzpunkt der Legierung und vergleiche ihn mit dem jedes einzelnen Metalles. Nach und nach füge man weitere Mengen von je 30 gr hinzu und konstruiere schließlich die Kurve der Schmelzpunkte als Funktion des Gehaltes an Blei. Man untersuche, ob die Legierung, welche den niedrigsten Schmelzpunkt hat, die sogenannte chemische Legierung ist, in welcher die Metalle nach den einfachen Atomverhältnissen legiert sind. — Man schmelze eine an Blei sehr reiche Legierung, z. B. 7 Teile Blei auf 1 Teil Zinn, lasse sie erkalten, konstruiere die Kurve wie im ersten Versuche und stelle die beiden Schmelzpunkte fest, die dem Überschuß an Blei über die chemische Legierung bezw. dieser selbst angehören.

1. Darcetsche Legierung:

Wismut	8
Blei	5
Zinn	3

Diese Legierung, welche bei 95° schmilzt, kann flüssig als Bad benutzt werden bis zu einer der Rotglut nahe kommenden Temperatur.

2. Woodsches Metall.

Wismut	8
Zinn	4
Kadmium	4
Blei	1

Diese Legierung schmilzt bei 70°.

3. Amalgam.

Darcetsche Legierung	9
Quecksilber	1

Diese Legierung schmilzt bei 50°.

4. Legierung, welche sich beim Festwerden ausdehnt.

Zinn	9
Blei	9
Wismut	1

Diese Legierung eignet sich zum Vergießen.

186. Volumenveränderung beim Schmelzpunkte. Man fülle eine Flasche ganz mit Wasser und verschließe sie mit einem doppelt durchbohrten Korken, durch den ein Thermometer und eine lange, dünne Glasröhre hindurchgehen. Man setze die Flasche in eine Kältemischung und beobachte das Verhalten des aus der Röhre hervorragenden Wasserfadens im Augenblick des in der Flasche eintretenden Gefrierens. Dann nehme man die Flasche aus der Kältemischung heraus und beobachte wieder den Wasserfaden im Augenblick des Schmelzens des Eises. Welche Volumveränderung erfährt das Wasser beim Gefrieren, welche beim Schmelzen?

Man stelle eine ganz mit Wasser gefüllte, verschlossene Flasche in eine Kältemischung. Warum platzt die Flasche?

Man stelle sämtliche Versuche mit Benzol an. Wie unterscheiden sich Wasser und Benzol in ihrem Verhalten beim Schmelzpunkte?

187. Gefrierpunktserniedrigung durch Druck. Regelation. Zwischen zwei Bretter bringe man zerstoßenes Eis in einer 1 bis 2 cm dicken Schicht. Das Ganze presse man kräftig in einem Schraubstock, bis das Eis eine homogene Masse bildet. — Ebenso stelle man einen Zylinder aus Eis her, indem man in einer Metallröhre zwischen den Enden zweier Eisenstäbe zerstoßenes Eis durch Hammerschläge zusammenpreßt (Fig. 200). — Man lege um einen auf zwei Schemeln ruhenden

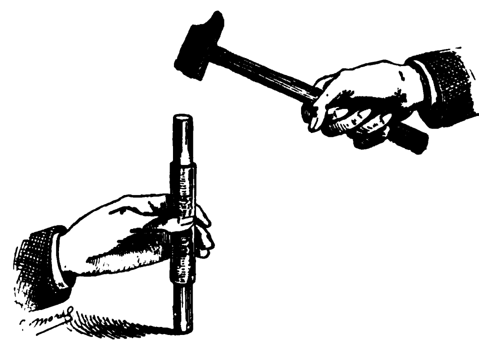


Fig. 200.



Fig. 201.

Eisblock (Fig. 201) einen durch ein Gewicht von 10 kg gespannten Stahldraht. Der Draht wandert durch den Eisblock, ohne daß dieser zerschnitten wird.

188. Gefrierpunktserniedrigung in Lösungen. 1. Man lasse in einem Trinkglase, das in einer aus Salz, Eis und Wasser hergestellten Kältemischung steht (Fig. 202), eine abgewogene Menge Wasser, z. B. 200 gr, gefrieren, in welcher man eine gleichfalls bekannte Menge Zucker, z. B. $^1/_{10}$ des Molekelgewichtes (34,2 gr) gelöst hat. Man beobachte mit einem empfindlichen Thermometer den Gefrierpunkt, warte, bis sich einige Gramm Eis gebildet haben, lasse dann die Lösung sich an der Luft erwärmen und beobachte die Temperatur von neuem. — Man wiederhole diesen Versuch, indem man die Menge Zucker allmählich bis auf etwa die Hälfte des Molekelgewichtes (171 gr) vermehrt. Dabei achte man, um den Gefrierpunkt genau beobachten zu können, stets darauf, daß die Temperatur langsam fällt. In welcher Beziehung stehen Gefrierpunkt und Konzentration zueinander? — 2. Man bestimme die Gefrierpunkte von Lösungen, welche auf dieselbe Menge Wasser, z. B. 200 gr, eine ihrem Molekelgewicht entsprechende (z. B. $^1/_2$ dieses Gewichtes) Menge von Alkohol, Traubenzucker oder Essigsäure enthalten, und untersuche, in welcher Beziehung die Gefrierpunktserniedrigung zum Molekelgewicht der hinzugefügten Substanzen stehen. — 3. Entsprechende Versuche stelle man auch mit Salzen, z. B. Kochsalz, Natriumsulfat oder Ammoniumnitrat an. Man zeige, daß die im ersten und zweiten Versuch gefundenen Gesetze hier nicht in ihrer Einfachheit gültig sind. — 4. Man benutze Benzol als Lösungsmittel und verfahre wie bei den vorhergehenden Versuchen; als Kälteerzeuger genügt Eiswasser. Als im Benzol aufzulösende Stoffe nehme man Naphthalin, Nitrobenzol, Kampfer oder Azeton und die eben genannten Salze in wachsenden Mengen, bis auf etwa $^1/_{10}$ des Molekelgewichtes. Um das Benzol zu reinigen, stelle man die damit gefüllte Flasche in Eiswasser und gieße die Flüssigkeit, aus welcher das Benzol bei etwa 5^0 herauskristallisiert ist, fort.

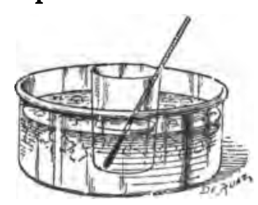


Fig. 202.

189. Unterkühlung. Wasser. Man reinige ein Reagenzglas mit lauwarmer Schwefelsäure, spüle mit Wasser ab und fülle zur Hälfte mit destilliertem Wasser. Man lasse dieses Wasser einige Minuten kochen und schließe dann das Reagenzglas mit einem Korken, durch dessen Durchbohrung ein Thermometer geht. Dann kühle

man das Glas in einer flüssigen Kältemischung von Eis und Kochsalz ab, bis das Thermometer ungefähr + 5° zeigt, nehme die Röhre heraus und schüttele sie einige Augenblicke, um das Eis, das sich vielleicht doch gebildet hat, wieder zu schmelzen. Dann setze man die Röhre wieder eine oder zwei Sekunden in die Kältemischung, nehme sie von neuem heraus, schüttele sie vorsichtig, lasse sie sich noch eine oder zwei Sekunden abkühlen und fahre so fort, bis das Wasser um 1 oder 2° unterkühlt ist.

Will man noch weiter gehen, so halte man die Röhre von Sekunde zu Sekunde wechselnd innerhalb und außerhalb der Kältemischung, dabei jede plötzliche Erschütterung vermeidend. Man kann so das Wasser bis auf 12° unter Null abkühlen, ohne daß es gefriert.

Salol. Man fülle ein Reagenzglas zur Hälfte mit Salol (Schmelzpunkt bei 42°), erwärme es vorsichtig über einem Bunsenbrenner und achte darauf, daß an den Wänden keine festen Stückchen mehr haften bleiben. Dann lasse man das Reagenzglas langsam erkalten und beobachte die Temperatur, die weit unter den Schmelzpunkt fällt, ohne daß das Salol gefriert. Erst wenn man einen kleinen Salolkristall hineinwirft, beginnt das Gefrieren der unterkühlten Substanz. Man beobachte die Temperatur während des Gefrierens.

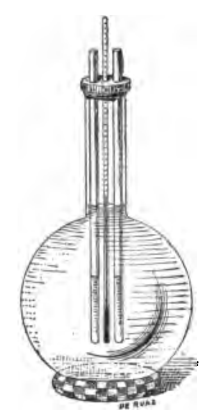
Salzhydrate. In eine Flasche von 1 Liter Inhalt bringe man nur einige Tropfen Wasser, dagegen zu drei Vierteln kristallisiertes unterschwefligsaures Natrium (Fixiernatron). Man erwärme bis zum Schmelzen (48°), wobei man die Flüssigkeit die Wände entlang laufen läßt, um alle kleinen Kristallteilchen zu sammeln, und lasse nachher die Flüssigkeit sich bis auf Zimmertemperatur abkühlen. Wirft man dann einen kleinen Kristall hinein, so hört die Unterkühlung auf. Man beobachte die starke Temperaturzunahme.

Entsprechende Versuche stelle man mit kristallisiertem Natriumazetat (Schmelzpunkt bei 59°) an.

Mischung von unterkühlten Flüssigkeiten. Man mische unterschwefligsaures und essigsaures Natrium, die man jedes für sich unterkühlt hat. Wenn man das Festwerden des Azetates durch einen Kristall hervorruft, geht die Kristallisation im Innern des unterschwefligsauren Salzes vor sich, das unterkühlt bleibt und nun seinerseits zum Kristallisieren gebracht werden kann. Erwärmt man dann das Ganze auf etwa 50°, so bringt man nur das unterschwefligsaure Salz zum Schmelzen.

Unterkühlung von Schwefel und allotrope Umwandlung. Man reinige zwei an einem Ende zugeschmolzene Glasröhren mit Schwefelsäure, die Röhren etwas anwärmend, spüle zuerst mit destilliertem Wasser, dann mit Alkohol ab und trockne durch einen Luftstrom, welchen man durch einen Wattepropfen filtriert hat. Dann bringe man Schwefel in kleinen Stücken hinein, bis zu einer Höhe von 10 cm. Dabei bediene man sich eines Trichters, damit sich nicht Schwefel an die Wände setzt. Man stelle beide Röhren nebst einem

Thermometer in einen Kolben (Fig. 203), in welchem sich eine konzentrierte Lösung von Chlorkalzium in Wasser befindet, und bringe den Schwefel durch Erwärmen des Kolbens zum Schmelzen, unter Beobachtung der Schmelztemperatur. Dann stelle man die Röhren in einen anderen, mit kochendem Wasser gefüllten Kolben und lasse den geschmolzenen Schwefel sich bis ungefähr 80° unterkühlen. Wirft man in die eine Röhre einen rhombischen, in die andere einen monoklinen Kristall, so geht in beiden Röhren die Kristallisation ziemlich langsam vor sich, vom hineingeworfenen Kristall anfangend. Für welchen der beiden Kristalle verläuft der Vorgang etwas schneller?


Fig. 203.

Man werfe, nachdem in beiden Röhren sich Kristalle gebildet haben, falls die Temperatur kälter als 95,6° ist, auf den monoklinen ein Stück rhombischen Schwefel, erwärme nach einiger Zeit das Bad heißer als 95,6°, werfe auf den rhombischen ein Stück monoklinen Schwefel und beobachte in beiden Fällen genau die Vorgänge in den Kristallen.

190. Löslichkeit des Natriumsulfates bei verschiedenen Temperaturen. Wasserfreies Natriumsulfat (600 gr) löse man in kochendem Wasser (1 Liter) bis zur Sättigung; dann kühle man bei überschüssigem Salz ab, beständig umrührend. Bei Temperaturen von 100°, 70°, 40°, 35°, 30°, 25° entnehme man mittels einer geeichten Pipette Proben von 40 ccm. Man verdünne diese 40 ccm durch Wasser auf 200 ccm und stelle das spezifische Gewicht dieser Lösung fest.

Aus einer Tabelle oder Kurve, welche den Prozentgehalt des Salzes als Funktion des spezifischen Gewichtes der Lösung gibt (72), entnehme man die Menge des Salzes, die den 200 ccm, also auch den 40 ccm angehört, und rechne sie in bezug auf letztere in Prozente um.

Die Löslichkeit des Salzes stelle man graphisch dar, indem man die Temperaturen als Abszissen und den zuletzt gefundenen Prozentgehalt der (gesättigten) Lösung als Ordinaten einträgt. Ist die Löslichkeit der Temperatur proportional (gerade Linie) oder steigt sie schneller (gegen die Abszissenachse konvexe Kurve) oder langsamer (konkave Kurve) als die Temperatur?

191. Übersättigung. Man gieße in einen größeren Glaskolben etwa 300 ccm einer warmen Lösung von 2 Teilen kristallisiertes Natriumsulfat und 1 Teil Wasser und schließe ihn durch einen von zwei Glasröhren durchbohrten Korkstöpsel; die eine Röhre lasse man bis in die Flüssigkeit tauchen. Damit nur staubfreie Luft in die Flüssigkeit gelangen kann, schließe man die herausragenden Enden beider Röhren durch kleine Wattepfropfen. Man koche die Lösung

einen Augenblick, damit die Wände von dem Kondensationswasser gut benetzt werden. Dann lasse man erkalten. — Man schicke einen durch die Watte filtrierten Luftstrom, bei einem neuen Versuch einen nicht filtrierten Luftstrom durch die Flüssigkeit. In welchem Falle tritt Kristallisation ein?

An Stelle des Sulfates kann man auch das Azetat des Natriums verwenden. Will man Kalziumchlorid benutzen, so löse man es zu 6 Teilen in 1 Teil Wasser.

Man bedecke einen mit einer übersättigten Lösung von Natriumsulfat oder Alaun gefüllten Glaskolben während des Siedens mit einer Papierkappe, bewahre dann den Kolben einige Tage auf und untersuche, ob Kristallbildung eingetreten ist.

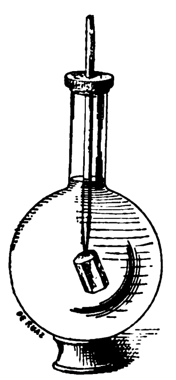


Fig. 204.

192. Wachsen eines Kristalles. In die Mitte eines mit geschmolzenem unterschwefligsauren Natron (Fixiernatron) gefüllten Glaskolbens bringe man die fein ausgezogene Spitze einer Glasröhre (Fig. 204). Nachdem man die Schmelze unterkühlt hat, werfe man in die Glasröhre einen kleinen Kristall des Salzes. Wenn die Kristallisation im Rohr bis zu der Spitze vorgeschritten ist, bildet sich dort ein einzelner Kristall, dessen Wachsen man mit bloßem Auge verfolgen kann.

193. Kristallisation. Durch Schmelzen. In einem irdenen Schmelztiegel von 850 ccm Inhalt lasse man Stangenschwefel vorsichtig schmelzen und wieder erkalten. Sobald sich auf der Oberfläche eine Kruste gebildet hat, durchsteche man sie mittels eines Rührstabes an zwei gegenüberliegenden Stellen, lasse den noch geschmolzenen Schwefel ausfließen und entferne die Oberflächenkruste, um das Netzwerk der kristallinischen Nadeln freizulegen. Nach vollständigem Abkühlen kann man die Umwandlung in rhombischen Schwefel hervorrufen, indem man in den Tiegel einige Körnchen des rhombischen Schwefels wirft (189).



Fig. 205.

Durch Sublimation. Etwa 50 gr Naphthalin bringe man in eine Schale, bedecke sie mit einem Blatt Seidenpapier, das flach aufgelegt wird, dann mit einem Kegel aus dünner Pappe (Höhe 40 cm) und klebe Papier an die Ränder, um die Schale ganz zu überdecken. Dann erwärme man langsam. Nach dem Abkühlen findet man auf der inneren Fläche des Kartonkegels die Kristalle des sublimierten Naphthalins (Fig. 205).

Die Sublimation von Jod kann man in einer Kristallisierschale aus dünnem Glas ausführen, welche man auf einen warmen Ziegelstein legt und mit einem Uhrglas bedeckt, das ein wenig Wasser enthält.

194. Abhängigkeit des Siedepunktes vom Drucke. 1. Als Siedegefäß benutze man eine Ölkanne von etwa 1 Liter Inhalt, in die man so viel destilliertes Wasser bringt, daß die Kugel des mittels eines fest schließenden Korkstöpsels durch den Hals gehenden Thermometers im Dampf steht (Fig. 206). Die Seitenöffnung und ein als Quecksilbermanometer dienendes **U**-Rohr, dessen Schenkel 30—40 cm lang sind, verbinde man mit einem **T**-Stück, an dessen drittem Ende man einen Kautschukschlauch nebst einem Hahn befestigt. Sämtliche Verbindungen mache man dadurch gut und sicher, daß man sie mit dünnem Eisendraht abbindet.

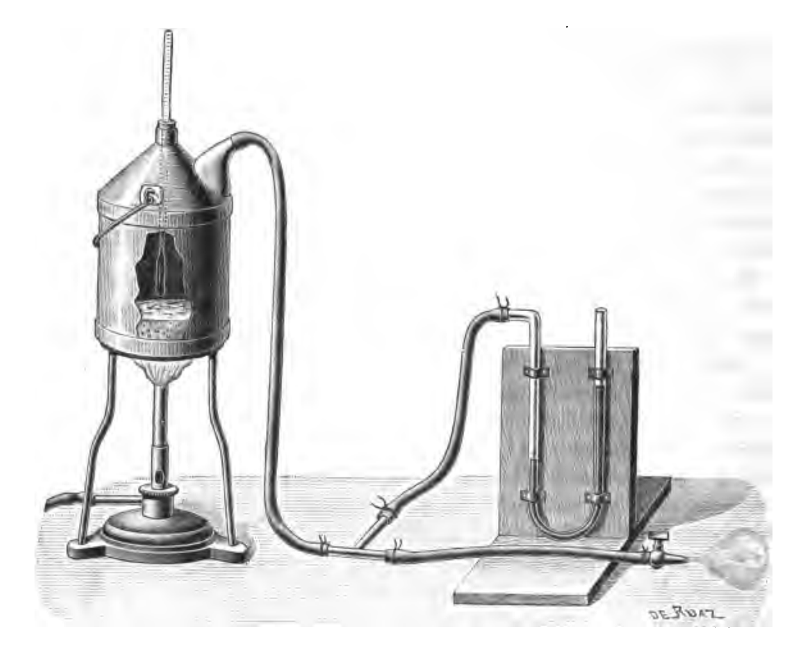


Fig. 206.

Nachdem man, um die Luft aus dem Kessel zu treiben, einige Zeit hat kochen lassen, reguliere man die Stellung des Hahnes so, daß langsames Sieden unter konstantem Druck eintritt. Starkes Sieden vermeide man, damit nicht das Quecksilber herausgeschleudert wird. Man wiederhole diesen Versuch bei verschiedenen Drucken, die man durch die Stellung des Hahnes erzielt, und zeichne die Kurve, welche die Siedetemperatur als Funktion des Druckes darstellt.

Mit Hilfe eines Thermometers, das mindestens die Zehntelgrade abzulesen gestattet (Hypsothermometer), beobachte man die Siedetemperatur des Wassers in den verschiedenen Stockwerken des Gebäudes und bestimme, unter Benutzung der vorher gezeichneten Kurve, den Luftdruck an diesen Orten.

2. Daß auch der Eigendruck des Wassers eine Siedepunkterhöhung verursachen kann, zeige man durch folgende Versuchsanordnung. Auf eine Kochflasche mit gut schließendem Stopfen setze man ein Glasrohr von 1 m Höhe (Fig. 207), dem man am oberen Ende ein trichterförmiges Auffanggefäß gibt. Erhitzt man die bis an das Ende des Rohres mit Wasser gefüllte Flasche bis zum Sieden, so wird durch die aufsteigenden Dampfblasen das Wasser aus dem Rohr hinausgeworfen. Wie ändert sich dadurch der Druck auf die tieferen Wasserschichten, und welchen Einfluß hat die Druckänderung auf den Siedevorgang in diesen Schichten? Welche Bedeutung hat das trichterförmige Gefäß für die Wiederholung der beobachteten Erscheinung? (Geysir)

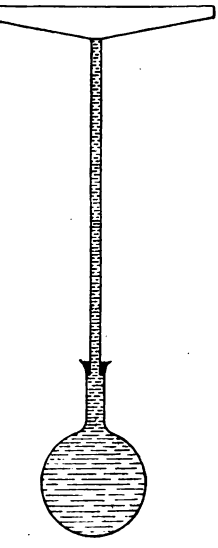


Fig. 207.

195. Druck des Wasserdampfes beim Siedepunkte. Man gieße in eine J-förmig gebogene Röhre Quecksilber und fülle den kurzen Teil der Röhre mit Wasser (Fig. 208). Man erwärme dieses Wasser und lasse es kurze Zeit sieden. Dann neige man die Röhre, so daß nur wenig Wasser in ihr zurückbleibt, und schließe sie, den Zutritt von Luft vermeidend, durch einen kleinen Korkstöpsel. Diese Röhre stelle man mit Hilfe eines flachen Korkes, der eine zweite Durchbohrung zum Entweichen des Wasserdampfes enthält, in einen Glaskolben mit Wasser, lasse dieses sieden und beobachte das Verdampfen der kleinen Wassermenge in der J-Röhre. Wie stellen sich die beiden Quecksilberoberflächen?

196. Druck gesättigter Dämpfe. 1. In der in Nr. 106 angegebenen Weise stelle man ein Barometer her, dessen Röhre etwa 1 m lang ist (Fig. 209). Durch den Seitentubus gieße man etwa 50 ccm Äther oder Alkohol. Dann schließe man den Tubus mittels eines besonders gut passenden Korkstöpsels, durch den eine kurze, rechtwinklig gebogene, in eine Spitze ausgezogene Glasröhre geht, und erwärme, indem man die Flasche zuerst in lauwarmes, dann in warmes (60°)

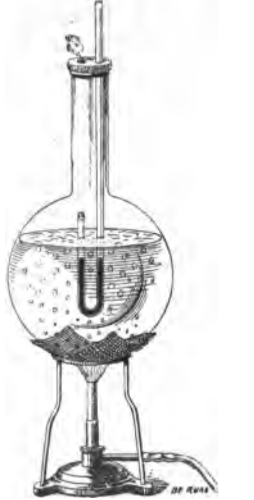


Fig. 208.



Fig. 209.

und endlich in kochendes Wasser stellt. Man lasse den Äther ungefähr eine Minute sieden, wobei man, um zu starken und zu plötzlichen Druck zu vermeiden, die Quecksilbersäule sorgfältig überwacht, nehme die Flasche aus dem Wasser heraus und schmelze in dem Augenblick, da das noch andauernde Sieden des Äthers aufhört, die Spitze zu.

Man halte diesen Apparat einige Minuten zuerst in Wasser von Zimmertemperatur, ersetze dieses dann durch immer wärmeres und messe jedesmal den Dampfdruck an der Quecksilbersäule. Man konstruiere die Kurve, welche diesen Druck als Funktion der Temperatur darstellt, und stelle eine Tabelle des Dampfdruckes des Äthers und des Alkohols für Temperaturunterschiede von 10 zu 10 Grad auf.

Um Drucke zu erhalten, welche merklich stärker sind als der Luftdruck, benutze man den in Nr. 194 beschriebenen Apparat, dessen U-Rohr man recht lange Schenkel gibt, bei verschlossenem Hahn. Man fülle den Kessel mit Äther oder Alkohol, erhitze aber nicht über der Flamme, sondern im Wasserbad.

2. Man schließe in dem in Nr. 183 benutzten Apparat nicht Luft, sondern eine kleine Menge Äther oder Alkohol ab, fülle das weite Rohr zunächst mit Wasser von Zimmertemperatur und lasse das Trichterrohr so weit wie möglich herab. Dann verringere man den Dampfraum allmählich mehr und mehr, bis der Druck nicht mehr zunimmt (105). Welchen Vorgang beobachtet man von diesem Augenblick an in dem abgeschlossenen Dampfraum? (Überhitzte und gesättigte Dämpfe) Man vergleiche die zueinandergehörigen Werte von Maximaldruck und Temperatur mit der in den vorigen Versuchen gewonnenen Tabelle des Dampfdruckes.

Man wiederhole denselben Versuch für verschiedene Temperaturen, indem man das weite Rohr mit Eiswasser bezw. warmem Wasser (für Äther höchstens 30°, für Alkohol 60°) füllt, und zeichne die Kurven, welche das Volumen als Funktion des Druckes bei konstanter Temperatur darstellen. Welche Bedeutung hat der Wendepunkt jeder Kurve? Für welche Dämpfe ist das Boylesche Gesetz angenähert gültig?


Fig. 210.

197. Einfluß der Luft-(Gas-)Atmosphäre auf die Verdampfung. Durch den Hals einer tubulierten, 2 cm hoch mit Quecksilber gefüllten Flasche (Fig. 210) führe man eine längere, offene Glasröhre, durch den Tubus einen Glashahn mit kurzem Kautschukschlauch, unter sorgfältiger Verdichtung der Korkstöpsel. Man stelle die Flasche bei geöffnetem Hahn mehrere Minuten lang in ein Wasserbad von Zimmertemperatur, schließe dann den Hahn, fülle den kleinen Kautschukschlauch mit Äther und verschließe ihn durch einen Korkstöpsel. Dann öffne man den Hahn, lasse den Äther in die Flasche fließen, indem man den Schlauch oben zudrückt, und schließe den Hahn wieder. Nachdem Temperaturausgleich eingetreten ist, markiere man die

Quecksilberhöhe durch ein Stückchen Gummipapier und nehme die Flasche heraus.

Man vergleiche den Druck mit dem im ersten Versuch der vorigen Nummer für dieselbe Temperatur gefundenen Druck und bestimme den Einfluß der hier mit dem Ätherdampf gemischten Luft auf den Druck, indem man berücksichtigt, daß dort die längere Glasröhre geschlossen, hier offen ist. Wie groß ist der Gesamtdruck, und wie setzt er sich aus den Einzeldrucken zusammen? Man vergleiche ferner die Zeit, welche zur Erreichung der Einstellung der Quecksilbersäule bei diesem und bei dem in der vorigen Nummer ausgeführten Versuch nötig ist.

Man wiederhole den Versuch, indem man die Flasche mit Leuchtgas oder Kohlensäure füllt. Worin unterscheiden sich die Einflüsse der verschiedenen Gase auf Druck und Verdampfungsgeschwindigkeit?

Um den Druck des Ätherdampfes auch in verdünnter Luft untersuchen zu können, ändere man den letzten Apparat dahin, daß man ihn als Barometer herstellt. Ehe man den kleinen Kautschukschlauch aufsetzt, mache man die Flasche durch die mit dem Glashahn verbundene Wasserluftpumpe möglichst luftleer; den in der Flasche verbleibenden Druck lese man am Manometer der Luftpumpe ab. Dann setze man den kleinen Schlauch auf den Glashahn, bringe in den Schlauch etwas Äther und setze den Versuch, wie vorher beschrieben, fort.

Man beobachte den Druck und die Geschwindigkeit, mit welcher er erreicht wird, und vergleiche diese Beobachtung mit dem vorher erhaltenen Ergebnis.

198. Dampfdruckerniedrigung in Lösungen. Man bereite sich Lösungen, welche in 200 ccm Äther der Reihe nach 9,31; 4,65; 2,33; 0,93 gr Anilin ($C_6H_5NH_2 = 93,1$) enthalten. Den Dampfdruck dieser Lösungen bestimme man nach der oben (196, 2) gegebenen Methode. Man suche zwischen dem Unterschiede des Druckes des reinen Äthers und der Lösung bei derselben Temperatur einerseits und dem Anilingehalt der Lösung andererseits eine Regelmäßigkeit festzustellen (188).

199. Siedepunkterhöhung in Lösungen. Man benutze den Apparat Fig. 211. Auf den Boden des Gefäßes lege man etwa 2 cm hoch Glasscherben und fülle es mit einer abgewogenen Menge Wasser, z. B. 500 gr. Ein Thermometer, das mindestens Zehntel-

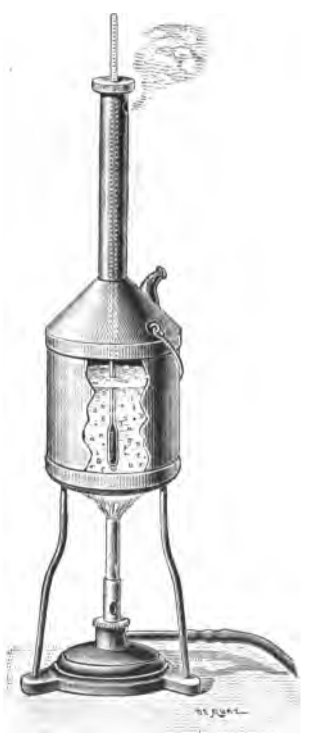


Fig. 211.

grade abzulesen gestattet, setze man so tief ein, daß der Quecksilberbehälter in der Mitte der Flüssigkeit steht.

Nachdem man den Siedepunkt des Wassers beobachtet hat, füge man diesem eine bestimmte Menge Zucker hinzu, z. B. $^1/_{20}$ des Molekelgewichtes (17,1 gr) auf je 100 gr Wasser, und beobachte die Siedetemperatur von neuem. Zu lebhaftes und zu langes Sieden vermeide man, um nicht die Konzentration der Lösung zu erhöhen. Dann erhöhe man den Zuckergehalt auf $^2/_{20}$, $^3/_{20}$ usf. bis etwa $^3/_{10}$ des Molekelgewichtes auf je 100 gr Wasser und beobachte jedesmal die Siedetemperatur. Nach beendetem Versuch entleere man, damit keine Kristallisation eintritt, den Kessel, wenn die Flüssigkeit noch kocht, und reinige ihn mehrere Male mit warmem Wasser. Man untersuche graphisch, in welcher Beziehung die Erhöhung des Siedepunktes über den des reinen Wassers zu der in Bruchteilen des Molekelgewichtes angegebenen Konzentration steht. — 2. Man wiederhole die Versuche für Borsäure unter Benutzung derselben Molekelgewichte, also $^1/_{20}$ (3,1 gr), $^2/_{20}$ usf. bis $^3/_{10}$ auf je 100 gr Wasser, und vergleiche die diesen entsprechenden Siedepunkterhöhungen für Zucker und Borsäure. — 3. Man stelle dieselben Versuche für Kochsalz an, beobachte die Siedepunkterhöhungen und vergleiche sie mit den vorhin erhaltenen.

Man erinnere sich der in bezug auf die Gefrierpunkterniedrigung (188) und Dampfdruckerniedrigung (198) gefundenen Regelmäßigkeiten.

200. Überhitzung des Wassers. Man fülle einen mit lauwarmer Schwefelsäure gereinigten und mit destilliertem Wasser ausgespülten Glaskolben zu zwei Dritteln mit destilliertem Wasser, das man durch Filtrierpapier hat gehen lassen. Um das Wasser luftfrei zu machen, lasse man es einige Zeit sieden. Dann erwärme man das abgekühlte Wasser von neuem und beobachte, bis zu welcher Temperatur die Überhitzung geht, ohne daß Sieden eintritt. Dabei bediene man sich wegen der Gefahr eines plötzlichen, explosionsartigen Eintrittes des Siedens größter Vorsicht (194, 2).

Man überhitze nur wenig, entferne die Flamme und führe eine kleine, mit Luft gefüllte Glocke, welche man erhält, wenn man eine Glasröhre in der Nähe des einen Endes weich macht und zusammenfallen läßt, in das Wasser oder werfe Eisenfeilicht hinein; das Wasser beginnt sofort zu sieden. Man beobachte die Temperatur.

201. Überhitzung verschiedener Flüssigkeiten. 1. Eine am einen Ende geschlossene Glasröhre wasche man mit lauwarmer Schwefelsäure, spüle sie mit filtriertem destillierten Wasser und mit filtriertem Alkohol aus und lasse sie dann abtropfen. Diese Röhre bringe man mittels eines Kautschukstöpsels nebst einem Thermometer in einen größeren, mit Wasser gefüllten Glaskolben (Fig. 212), gieße durch einen Trichter die zu prüfende Flüssigkeit in die Röhre und erwärme den Kolben.

Wenn das normale Sieden begonnen hat, lasse man es einige Minuten andauern und ziehe dann die Röhre aus dem Kolben einen Augenblick heraus. Wenn man sie wieder hineinstellt, nachdem in ihr das Sieden aufgehört hat, entsteht die Überhitzung fast jedesmal.

Unter solchen Vorsichtsmaßregeln kann man Alkohol, Äther, Chloroform, Schwefelkohlenstoff, Benzol u. a. bis um 20° überhitzen.

2. Man reinige eine etwa 1 m lange Glasröhre, wie im vorigen Versuch angegeben, und schließe sie dann an einem Ende. Mit Hilfe eines Trichters lasse man filtriertes flüssiges Methylchlorid längs der Wand in die Röhre fließen, bis sie auf etwa ein Viertel ihrer Länge gefüllt ist. Die Flüssigkeit hält sich, ohne daß ein Sieden eintritt, auf der Temperatur ihrer Umgebung. Reibt man aber die Röhre in der Längsrichtung mit den durch Alkohol befeuchteten Fingern, so wird die Flüssigkeit durch die sich entwickelnden Dampfblasen plötzlich hochgestoßen und die Temperatur sinkt auf — 23°.

Fig. 212.

202. Nebelbildung. In dem einen der beiden Tuben einer Flasche (Fig. 213) befestige man eine als Quecksilbermanometer dienende **S**-förmig gebogene Glasröhre, im anderen eine längere, bis auf den Boden reichende Röhre, im Hals eine kürzere mit Kautschukschlauch und Quetschhahn. Man kann auch eine Flasche mit weitem Hals benutzen, in welchen ein drei Mal durchbohrter Korkstöpsel gesteckt wird.

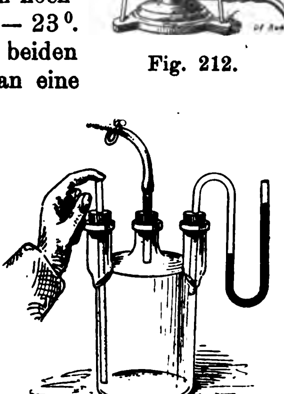


Fig. 213.

Man bringe in die feuchte Luft enthaltende Flasche etwas Tabaksrauch oder Salmiaknebel, verschließe die längere Röhre mit dem Finger und presse mit dem Munde durch den Schlauch Luft in die Flasche, worauf man ihn durch den Quetschhahn schließt. Dann setze man plötzlich die Flasche mit der äußeren Luft in Verbindung und beobachte die starke Nebelbildung.

Man wiederhole den Versuch, ohne vorher den Rauch in die Flasche zu bringen. Tritt die Nebelbildung stärker oder schwächer auf?

Um den Versuch auch mit staubfreier Luft anstellen zu können, setze man in die kurze Röhre einen Wattepfropfen, fülle die Flasche mit Wasser und hole dieses mit Hilfe eines an die längere Röhre gesetzten, als Saugheber dienenden Schlauches heraus, so daß die durch die kürzere Röhre nachdringende Luft durch die Watte filtriert wird. Man setze den Versuch wie vorher for und beobachte, daß

sich kein Nebel bildet, trotzdem doch beim schnellen Entweichen der Luft dieselbe Abkühlung wie vorher eingetreten ist, die Wasserdämpfe also übersättigt sind.

Welche Bedeutung hat also der Begriff der Nebelkerne?

203. Der Taupunkt. In ein auf seiner unteren Hälfte außen versilbertes Reagenzglas wird Äther gegossen, so daß dessen Oberfläche in der versilberten Hälfte liegt. Das Glas wird mit einem dreifach durchbohrten Korke geschlossen; in der Mitte ein Thermometer, außen 2 Glasröhren. Das Thermometer und ein Rohr tauchen in den Äther. Das andere Rohr wird an einen Aspirator (oberes Ende einer Mariotteschen Flasche) angeschlossen, durch den Luft durch den Äther gesaugt wird. Infolge der dadurch beschleunigten Verdunstung wird der Äther abgekühlt, und es bildet sich auf der Versilberung ein Taubeschlag, den man deutlich erkennt, wenn man das Bild einer hellen Kante beobachtet. Man liest die Temperatur ab bei der Bildung des Beschlages und beim Verschwinden desselben und wiederholt den Versuch, indem man, sobald die Temperatur der Taubildung nahe erreicht ist, langsamer ansaugt. Man bestimme den Taupunkt in verschiedenen Räumen und im Freien. (Küche während des Kochens auf offenen Herd. Waschküche.)

Man berechne die relative Feuchtigkeit, d. h. das Verhältnis der Wasserdampfmenge, mit der 1 cbm Luft bei der Temperatur des Taupunktes gesättigt ist, zu der Menge, mit der 1 cbm bei Zimmertemperatur gesättigt ist (Tabelle 18).

---

204. Spezifische Wärme. 1. Man mische in einem dünnwandigen Metallgefäß, das, um die Wärmeabgabe an die Umgebung möglichst zu verringern, in einem größeren Gefäß auf Korkstückchen ruht (Kalorimeter), einmal zwei gleiche, dann zwei verschiedene Wassermengen, jedesmal von ungleichen Temperaturen, und beobachte die Mischungstemperatur. — 2. Man ersetze in einem der Versuche die eine Wassermenge durch ein gleiches Gewicht Terpentin oder Messing von derselben Temperatur und vergleiche die gefundene Mischungstemperatur mit der des entsprechenden Versuches. Welchen Schluß kann man hieraus auf die vom Terpentin oder Messing zugeführte Wärmemenge ziehen? — 3. Man erwärme in einem dünnwandigen Metallgefäß der Reihe nach gleiche Gewichtsmengen Wasser, Terpentin, Alkohol oder Quecksilber von gleicher Anfangstemperatur und bestimme aus dem Verhältnis der Zeiten, in denen sie dieselbe Temperatur angenommen haben, das Verhältnis der hierzu erforderlichen Wärmemengen.

205. Bestimmung der spezifischen Wärme. 1. Mischungsmethode. Man mische Terpentin von Zimmertemperatur mit einer etwa halb so großen Menge siedendes Wasser und berechne aus den auf $^1/_{10}{}^0$ genau bestimmten Temperaturen zu Beginn und am Schluß

des Versuches, um wieviel Grad die Temperatur des Terpentins zu-, die des Wassers abgenommen hat. Mit 1 Wärmeeinheit (Kalorie) die Wärmemenge bezeichnend, welche nötig ist, um die Temperatur von 1 gr Wasser um 1° zu erhöhen, berechne man zunächst die Zahl der Wärmeeinheiten, welche das Wasser abgegeben hat. Das Terpentin hat dieselbe Wärmemenge aufgenommen. Man bestimme daraus die spezifische Wärme des Terpentins, d. h. die Zahl der Kalorieen, welche nötig ist, um 1 gr Terpentin um 1° zu erhöhen.

Man suche in derselben Weise die spezifische Wärme von Quecksilber und Alkohol.

Man hänge ein an einem Faden befestigtes Stück Messing einige Minuten in siedendes Wasser, nehme es heraus, trockne es schnell ab und hänge es in das Kalorimetergefäß, das eine bekannte Gewichtsmenge Wasser von Zimmertemperatur enthält. Man messe die Endtemperatur und berechne die spezifische Wärme des Messings.

2. Eiskalorimeter. Man bereite sich, eventuell im Eisschrank, ein Stück Eis mit einer ebenen Fläche, bohre in diese ein Loch hinein, so daß ein vorher ausgewähltes Metallstück gerade darin liegen kann, und bearbeite ein zweites Eisstück zu einem fest schließenden Deckel für dieses Loch. Man erwärme das Metallstück in kochendem Wasser bis auf 100°, trockne es schnell ab, lege es in das Loch und bedecke es mit dem Eisdeckel. Hat das Metallstück seine Wärme vollständig abgegeben, so tupfe man das durch Schmelzen entstandene Wasser mittels eines Schwämmchens auf und bestimme sein Gewicht. Man berechne die spezifische Wärme des Metalles, indem man die Tatsache berücksichtigt, daß zum Schmelzen von 1 gr Eis 80 Kalorieen nötig sind (207).

3. Bunsensches Eiskalorimeter. Man setze ein U-förmiges Rohr zusammen, in dessen weiten Schenkel man ein Reagenzglas durch einen Korkstopfen fest einfügt und dessen enger Schenkel mit einem Stopfen geschlossen wird, durch den eine rechtwinklig gebogene Kapillarröhre geht (Fig. 214). Man fülle das weite Rohr mit luftfreiem Wasser W und schließe es unten durch Quecksilber Q ab, das bis in die Kapillarröhre q reicht. Durch eine in das Reagenzglas gebrachte Kältemischung oder mittels eines durch Äther gehenden Gasstromes (203) bringe man zunächst eine solche Abkühlung hervor, daß sich um das Reagenzglas ein kleiner Eismantel E bildet. Dann bringe man in dieses Glas eine bekannte Gewichtsmenge Wasser w, umgebe den ganzen Apparat mit Eis oder stelle ihn in einen Eisschrank, bis er die Temperatur 0° angenommen hat. Bringt man nun eine Substanz von bekanntem Gewicht und bekannter Temperatur in das Reagenzglas,

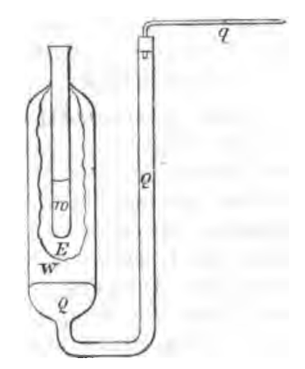


Fig. 214.

so wird ein Teil des Eismantels geschmolzen und das Quecksilber in der Kapillarröhre zieht sich zurück. Warum? (186). Man messe die Verschiebung und berechne daraus die Menge des entstandenen Schmelzwassers, indem man, wenn das Rohr nicht kalibriert ist, das Gewicht des die Länge der Verschiebung einnehmenden Quecksilbers feststellt und mit Hilfe des spezifischen Gewichtes das Volumen berechnet. Man berechne die spezifische Wärme der Substanz, indem man berücksichtigt, daß ihre ganze Wärme zum Schmelzen des Eises verbraucht ist und zum Schmelzen von 1 gr Eis 80 Kalorieen nötig sind.

4. Gesetz von Dulong und Petit. Man bestimme die spezifische Wärme von Aluminium, Eisen und Blei.

Welchen Wert hat das Produkt aus spezifischer Wärme und Atomgewicht für diese Stoffe, und welche Beziehung haben diese Produkte untereinander?

206. Kalorimetrische Bestimmung einer heißen Temperatur. Man erhitze ein an einem Draht hängendes Eisengewicht von 100 gr in der Flamme eines Bunsenbrenners bis zur Rotglut und hänge es dann in das Kalorimeter (204). Aus der vom Wasser aufgenommenen Wärmemenge, der Endtemperatur des Eisens und seiner spezifischen Wärme berechne man seine anfängliche Temperatur.

207. Schmelzwärme des Eises. In das mit etwa 500 gr Wasser von Zimmertemperatur gefüllte Kalorimeter lege man ein Eisstückchen von etwa 30 gr, das man kurz vorher abgetrocknet hat; die Gewichtsbestimmung nehme man für das Kalorimeter leer, mit Wasser, sowie mit Wasser und geschmolzenem Eis vor. Aus den Gewichten, der Anfangs- und Endtemperatur der ersten Wassermenge und der Endtemperatur des durch Schmelzen entstandenen Wassers berechne man die von der ersten Menge abgegebene und die von der zweiten (nach beendetem Schmelzen des Eises) aufgenommene Wärmemenge. Die Differenz beider gibt die zum Schmelzen erforderliche Wärmemenge. Hieraus berechne man die Schmelzwärme des Eises, d. h. die zum Schmelzen von 1 gr Eis erforderliche Zahl von Wärmeeinheiten.

208. Lösungswärme. Man bringe in ein mit etwa 500 gr Wasser gefülltes Kalorimeter immer größere Bruchteile des Molekelgewichtes von Ammoniumnitrat, das ebenso wie das Wasser Zimmertemperatur besitzt, zeichne die Kurve, welche die Temperaturerniedrigung als Funktion der gelösten Gewichtsmengen des Salzes darstellt, und benutze die Kurve, um für beliebige Gewichtsmengen des Salzes die zugehörige Temperaturerniedrigung zu bestimmen. Man entnehme der Kurve die Temperaturerniedrigung, welche dem Molekelgewicht des gelösten Salzes entspricht, und berechne mit Hilfe des Gesamtgewichtes der Salzlösung — deren spezifische Wärme gleich Eins anzunehmen ist — die zum Lösen einer Mole abgegebene Wärmemenge.

209. Kältemischungen. Man mische 6 Teile Ammoniumnitrat mit 10 Teilen Wasser und bestimme die Temperatur. Dann benutze

man diese Kältemischung, um eine neue Menge des Salzes und ebenso von Wasser abzukühlen, dem man, um sein Gefrieren zu vermeiden, ein wenig Nitrat hinzugefügt hat. Man stelle nun aus den abgekühlten Substanzen wieder eine Mischung im Verhältnis 6:10 her und vergleiche die Temperatur mit der der zuerst zubereiteten Mischung.

Man wiederhole den vorigen Versuch, indem man einmal Wasser von 0°, das andere Mal dieselbe Gewichtsmenge geschabtes Eis oder Schnee von 0° nimmt. Warum ist die Temperatur dieser Kältemischung noch niedriger als die zuletzt beobachtete?

Man mische 1 Teil Kalisalpeter, 1 Teil Salmiak und 2 Teile Wasser, ferner 1 Teil salpetersaures Ammonium und 1 Teil Wasser, ebenso 1 Teil Kochsalz und 1 Teil Schnee oder geschabtes Eis und bestimme jedes Mal die Temperatur.

210. Verdampfungswärme. Wasser. Man benutze das in Nr. 204 beschriebene Kalorimeter, ferner als Kochkessel eine Ölkanne (Fig. 215) oder eine gläserne Kochflasche. Als Dampftrockner nehme

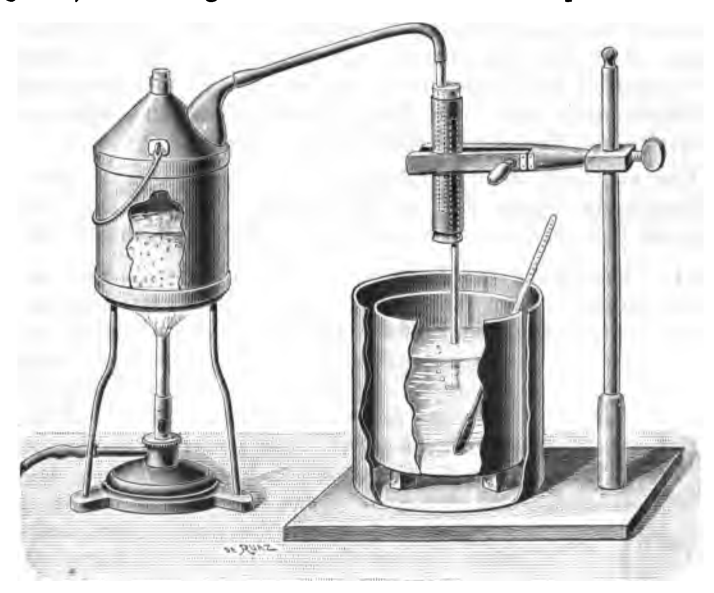


Fig. 215.

man eine Röhre, durch deren Korkstöpsel je ein bis an das gegenüberliegende Ende der Röhre reichendes Glasröhrchen geht; das ins Wasser tauchende schleife man unten schräg ab, das andere verbinde man mit dem Kessel durch einen möglichst kurzen Kautschukschlauch, den man ebenso wie den Dampftrockner mit Watte umwickelt.

Man wäge das Kalorimeter erst leer, dann mit Wasser und bestimme die Temperatur. Dann schicke man zwei Minuten lang den

Dampfstrom in das Wasser, entferne die Flamme und das ins Kalorimeter tauchende Röhrchen, rühre lebhaft mit dem Thermometer um und lese die Endtemperatur ab, die Zehntelgrade schätzend. Schließlich wäge man wieder, um das Gewicht des kondensierten Wassers zu bestimmen, und berechne die von der ersten Wassermenge aufgenommene, von der zweiten (nach beendeter Kondensation) abgegebene Wärmemenge. Aus der Differenz bestimme man die Verdampfungswärme des Wassers, d. h. die zur Verdampfung von 1 gr Wasser erforderliche Zahl von Wärmeeinheiten.

Äther. Man beschaffe sich ein dünnwandiges Reagenzglas, welches man mit einem doppelt durchbohrten Korke schließt. Die eine der durch den Kork gesteckten Glasröhren reiche bis auf den Boden, die andere endige dicht unter dem Korke. Man fülle das Rohr zum Teil mit Äther, wäge es und hänge es dann so in ein Kalorimeter, daß die Ätheroberfläche 3 bis 4 cm tiefer steht als die Wasseroberfläche im Kalorimeter. Indem man Luft durch den Äther saugt, bringe man ihn zum Verdunsten und verfolge gleichzeitig die Temperatur des Kalorimeters. Ist ungefähr $^3/_4$ des Äthers verdunstet, so wäge man das Reagenzrohr mit Inhalt, um den verdunsteten Äther genau zu bestimmen, und berechne daraus einerseits und aus der Wassermenge und der Temperaturabnahme des Kalorimeters andererseits die Verdampfungswärme des Äthers.

Ehe man mit dem Durchsaugen der Luft beginnt, lasse man das Reagenzglas einige Zeit im Kalorimeter hängen. Die Anfangstemperatur liest man ab, wenn man mit dem Durchsaugen beginnt (203).

211. Erzeugung von Kälte durch Verdampfung. Man umgebe den Quecksilberbehälter eines Thermometers mit Watte, feuchte diese mit Äther an und zeige den Einfluß ganz schwacher Luftströme. — Man fülle einen Zerstäuber mit Äther und bringe ein mit wenig Wasser gefülltes Reagenzglas in den Weg des Luft- und Ätherstromes. — Man lege ein Uhrglas auf einen gefirnissten oder paraffinierten, flachen Kork, bringe zwischen das Glas und den Kork etwas Wasser, gieße Äther in das Uhrglas und bringe ihn durch einen Luftstrom zum Verdampfen. — In ein Dewarsches Gefäß, d. h. ein Gefäß, welches, um die Wärmeabgabe nach außen möglichst zu verhindern, eine doppelte Wandung besitzt, die einen luftleeren Raum einschließt, bringe man Äther, in welchen man ein Reagenzglas mit Wasser und ein Thermometer stellt (Fig. 216). Mittels eines hineingestellten Glasrohres schicke man einen Luftstrom hindurch und beobachte das Thermometer. — Man lege eine Kohlensäureflasche geneigt auf eine Unterlage, befestige an der

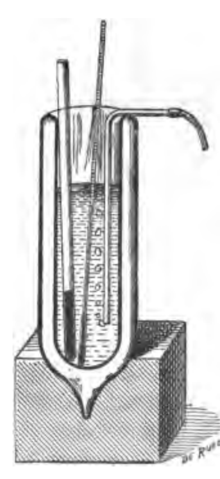


Fig. 216.

Ausflußöffnung dicht schließend einen Beutel mit doppelter Wandung und lasse den Hahn wenige Sekunden offen, bis der Beutel sich mit Kohlensäureschnee gefüllt hat (Fig. 217). — Um eine besonders niedrige Temperatur zu erhalten, benütze man ein Gemisch von fester Kohlensäure mit Äther, Alkohol oder Azeton. Man messe die Temperatur mit einem Toluol-Thermometer. — Man bringe durch solches Gemisch Quecksilber zum Gefrieren, nehme es aus seinem Gefäß heraus und zeige, daß es sich hämmern läßt. — Um verschiedene Flüssigkeiten, wie Alkohol, Petroleum, Glyzerin, Brom u. a. zum Gefrieren zu bringen, gieße man sie in ein Reagenzglas, welches man dann in das Gemisch bringt. — Man erprobe die Wirkung eines gefrorenen Gemisches von 3 Volumenteilen Salzsäure und 1 Teil Wasser auf Natrium oder Eisen. — Mit Hilfe einer U-förmig gebogenen Röhre, die durch den Kohlensäureschnee abgekühlt wird, beweise man das Vorhandensein von Wasserdampf in Luft, selbst noch in der durch Chlorkalzium getrockneten Luft. — Um Leuchtgas zum Gefrieren zu bringen und seine Bestandteile einzeln zu erhalten, leite man das Gas in ein Reagenzglas, das in dem Schnee abgekühlt wird. Hat das dem Reagenzglas entströmende Gas noch den ihm eigentümlichen Geruch? — Flüssiges Ammoniak erzeuge man, indem man einen Strom des trockenen Gases durch eine von dem Schnee abgekühlte Röhre schickt. — Man lasse einen Kautschukschlauch gefrieren und ihn dann sich wieder erwärmen. Sind seine elastischen Eigenschaften verändert? — In den Schnee getauchtes Blei wird elastisch und spröde wie Stahl. — Man messe den Leitungswiderstand einer im Schnee abgekühlten Spirale aus Kupferdraht.

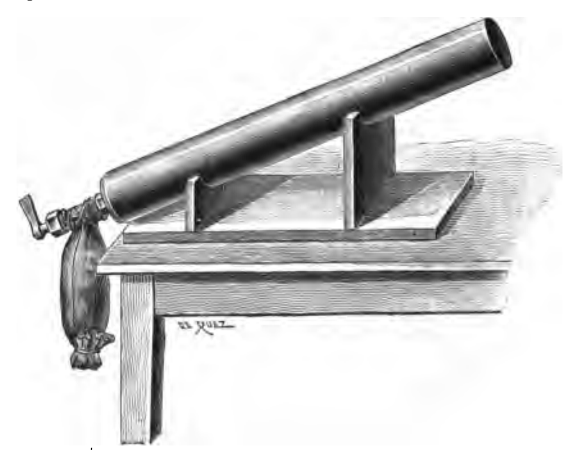


Fig. 217.

212. Reaktionswärme. Man fülle eine kleine Flasche mit der Hälfte des Molekelgewichtes einer konzentrierten Lösung von Kalilauge bezw. Natronlauge, stelle die Flasche in das Kalorimeter und neutralisiere jede der Basen einmal durch Salzsäure, das andere Mal durch Salpetersäure. Man messe die sich entwickelnde Wärmemenge und vergleiche die vier Werte miteinander. Dann stelle man die vier Reaktionsgleichungen auf und vergleiche die hiernach sich entwickelnden Wassermengen miteinander. Welchen Einfluß hat demnach die Natur der Base und Säure auf die Neutralisationswärme?

213. Entwicklung von Wärme durch Arbeit. Man reibe einen Metallknopf an Holz oder Leder oder einen Bindfaden an der Tischkante. — Man presse ein Holzbrettchen gegen die Achse eines laufenden Motors. — Man hämmere längere Zeit kräftig ein Stück Blei. — Man bestimme den Temperaturunterschied von 1 kg Quecksilber, das sich in einem 1 m langen, an beiden Enden durch einen Stopfen verschlossenen Glasrohr durch etwa fünfzigmaliges Umstürzen der Röhre erwärmt hat (Fig. 218). Welche Arbeit ist durch das fünfzigmalige Hochheben des 1 kg Quecksilber auf eine Höhe von 1 m geleistet worden? Das mechanische Äquivalent der Wärme beträgt 430 mkg, d. h. eine Arbeitsleistung von 430 mkg ist erforderlich, um eine Wärmemenge von 1 Kilogrammkalorie zu erzeugen. Welche Temperaturzunahme des Quecksilbers (spez. W. = 0,033) müßte demnach, von den Wärmeverlusten abgesehen, eingetreten sein? Man vergleiche das berechnete Resultat mit dem durch den Versuch gefundenen.



Fig. 218.

214. Temperaturänderung durch Zusammenpressung und Ausdehnung der Gase. 1. Man drücke in dem pneumatischen Feuerzeug, einem starkwandigen Metall- oder Glaszylinder, in welchem sich am Boden ein Stückchen Zunder befindet, den Kolben so schnell herunter, daß ein Wärmeaustausch zwischen der Luft und der Wandung nicht stattfinden kann. Welche Wirkung hat die bei dieser (adiabatischen) Zusammenpressung der Luft geleistete Arbeit? Woher nimmt bei den in Nr. 202 beschriebenen Versuchen die Luft die Wärmemenge, welche sie zu der zur Überwindung des äußeren Luftwiderstandes zu leistenden Arbeit gebraucht?



Fig. 219.

2. Durch den gut schließenden Kork einer großen Flasche (Fig. 219) führe man eine gerade, mit kurzem Kautschukschlauch und Quetschhahn versehene und eine S-förmige, als Wassermanometer dienende Glasröhre. Man verdichte die Luft und warte mehrere Minuten, bis Temperaturausgleich stattgefunden hat.

Man öffne den Hahn auf einen kurzen Augenblick, warte dann den Temperaturausgleich ab und messe den Druck. In dem Augenblick, da der Hahn geschlossen wurde, stand die Luft der Flasche unter dem äußeren Luftdruck. Steht sie am Schluß des Versuches unter einem stärkeren Druck, so muß sie im Augenblick des Verschließens eine kältere Temperatur als die äußere Luft gehabt haben. Wie ist diese Temperaturabnahme zu erklären? Man berechne sie, indem man die bei konstantem Volumen geltende Zustandsgleichung der Gase für den Zustand im Moment des Schließens und für den nach Temperaturausgleich aufstellt; beide Gleichungen aufzustellen ist nötig, um den nicht meßbaren Druck bei 0^0 eliminieren zu können.

215. Verhältnis der spezifischen Wärmen der Luft bei Erwärmung unter konstantem Druck und bei konstantem Volumen. Man wiederhole das Experiment 214, 2, indem man aus dem Ballon eine kleine Luftmenge heraussaugt, so daß, nachdem innen die Zimmertemperatur sich wieder hergestellt hat, das Manometer eine Druckdifferenz von ungefähr 10 cm Wassersäule anzeigt. Dann öffne man auf einen kurzen Augenblick den Hahn, so daß durch das Einströmen von Luft die im Ballon gewesene Luftmenge auf das Volumen $V - v$ adiabatisch komprimiert wird unter Erwärmung um ϑ^0, während gleichzeitig der Druck innen bis auf den atmosphärischen p wächst. Nach Schließen des Hahnes warte man einige Zeit, bis die Temperaturen sich vollständig ausgeglichen haben, d. h. die Luft sich bei konstantem Volumen um ϑ^0 abgekühlt hat; es muß dadurch der Druck wieder abgenommen haben; man lese die schließlich erreichte Druckdifferenz an der Wassersäule des Manometers ab.

Für jeden dieser drei Zustände der anfänglich im Ballon enthaltenen Luftmenge stelle man die allgemeine Zustandsgleichung (183) auf und berechne aus den drei Gleichungen die Abhängigkeit der Volumenabnahme v und der Temperaturzunahme ϑ vom Anfangsvolumen V der Luft, der Anfangstemperatur t, dem Barometerstand p und den am Manometer gemessenen beiden Druckdifferenzen h_1 und h_2.

Dann denke man sich die auf $V-v$ komprimierte Gasmenge unter konstantem Druck um so viel erwärmt, daß sie wieder ihr ursprüngliches Volumen V einnimmt. Die Abhängigkeit der dazu nötigen Temperatursteigerung ϑ' von der Zimmertemperatur und den beiden Werten des Volumens berechne man aus der Zustandsgleichung der Gase bei konstantem Druck und setze dann in der so gewonnenen Gleichung den aus dem Versuch berechneten Wert für v ein.

Um eine solche Temperatursteigerung zu erhalten, muß eine bestimmte Wärme zugeführt werden; wie groß ist diese, wenn man die spezifische Wärme bei konstantem Druck mit c_p und die Menge der Luft mit m bezeichnet? Die durch diese Wärmezuführung bis auf das Volumen V ausgedehnte Luftmenge werde nun, wie im Experiment geschehen, adiabatisch bis auf $V-v$ komprimiert, die

Temperatur wird dadurch, wie das Experiment gezeigt hat, noch um ϑ heißer, im ganzen also um $\vartheta' + \vartheta$. Hätte man von vornherein die Wärmemenge, welche bei konstantem Druck die Temperatur um ϑ' heißer gemacht hat, bei konstantem Volumen zugeführt, so hätte man natürlich sofort die Temperatursteigerung $\vartheta' + \vartheta$ erhalten. Es hat somit dieselbe Wärmemenge je nach der Art der Zustandsänderung des Gases eine verschiedene Temperaturänderung bedingt, man muß also auch je nach der Zustandsänderung verschiedene spezifische Wärmen einführen. Indem man die spezifische Wärme bei konstantem Volumen mit c_v bezeichnet, stelle man einen die Temperatursteigerung bei konstantem Volumen enthaltenden Ausdruck für die zugeführte Wärmemenge her. Da man für diese Wärmemenge oben schon einen anderen Ausdruck erhalten hatte, so kann man beide gleich setzen. Man berechne aus der so erhaltenen Gleichung das Verhältnis $\frac{c_p}{c_v} = k$ der spezifischen Wärme der Luft bei konstantem Druck und bei konstantem Volumen, indem man für ϑ und ϑ' die aus dem Experiment sich ergebenden Werte einsetzt.

---

216. Wärmeleitung. Man beachte die verschiedene Leitungsfähigkeit von Stäben aus Holz, Eisen, Kupfer u. a., die man beim Erwärmen über einem Bunsenbrenner in der Hand hält. — Man drücke eine Gasflamme durch ein Drahtnetz nieder (Fig. 220). —

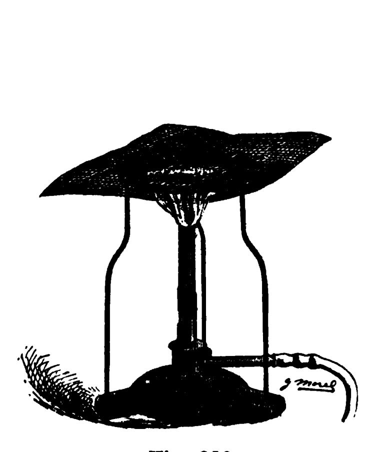


Fig. 220.

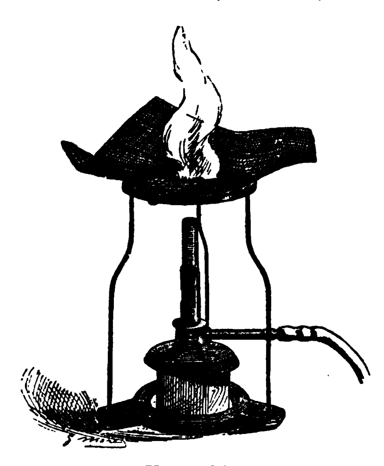


Fig. 221.

Man zünde eine Gasflamme oberhalb eines Drahtnetzes an (Fig. 221). — Man fülle ein Glasgefäß mit kaltem Wasser, bringe über dieses warmes Wasser, indem man das letztere mit Hilfe einer sehr kurzen und mit einem Wattepfropfen versehenen Trichterröhre auf einen im kalten Wasser schwimmenden flachen Kork gießt, und zeige mit

Hilfe eines höher oder niedriger gehaltenen Thermometers, ob das Wasser die Wärme nach unten leitet. — Man halte eine Hand in sehr warmes Wasser und prüfe, ob man die Wärme besser erträgt, wenn man die Hand still hält oder wenn man sie bewegt.

217. Bestimmung eines Wärmeleitungskoeffizienten. 1. Man verbinde eine größere und eine kleinere Weißblechdose durch einen etwa 20 cm langen und 2 cm dicken Eisenstab (Fig. 222), indem man ihn in zwei gleichhoch über den Böden stehenden Löchern der Seitenwände so einlötet, daß er in jedes Gefäß ein kurzes Stück hineinragt. Um die äußere Wärmeleitung des Stabes möglichst zu vermeiden, umwickle man ihn mit Tuch oder umgebe ihn mit zwei rinnenförmig ausgeschnittenen Korkstücken. Man fülle beide Gefäße, von denen das kleinere auf einer die Wärmeabgabe verhindernden Unterlage (Kork) steht, mit Wasser und erhitze das größere Gefäß. Wenn das in diesem befindliche Wasser mehrere Minuten lang gesiedet hat, bringe man in das kleine Gefäß eine abgewogene neue Menge Wasser und messe seine (Anfangs-)Temperatur. Dann messe man nach Verlauf einiger Minuten seine neue Temperatur und berechne die Wärmemenge, welche das Wasser in 1 Sekunde aufgenommen hat. Diese Wärmemenge geht infolge der Temperaturdifferenz des Wassers in beiden Gefäßen in 1 Sekunde durch den Eisenstab hindurch. Man berechne die (innere) Leitungsfähigkeit des Eisens, d. h. die Wärmemenge, welche durch einen Eisenstab von 1 cm Länge und 1 qcm Querschnitt bei einer an den Enden bestehenden Temperaturdifferenz von 1^0 hindurchgeht.

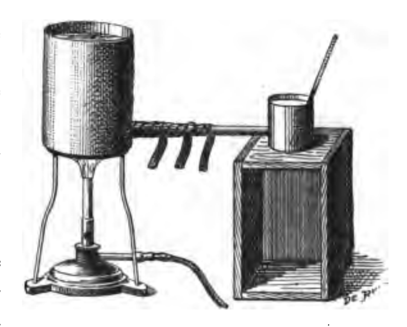


Fig. 222.

2. Man kann auch, wie Fig. 223 zeigt, den Eisenstab mittels zweier dicht schließenden Korke in einem Lampenzylinder befestigen. Durch einen dritten, in der unteren Öffnung befestigten Kork führe man zwei Glasröhren, um einen Dampfstrom durchleiten zu können. Den Raum zwischen beiden Korken fülle man, um die äußere Wärmeabgabe zu vermeiden, mit Watte an. In den Raum über dem obersten Korke gieße man Wasser. Im übrigen verfahre man wie im vorigen Versuch.

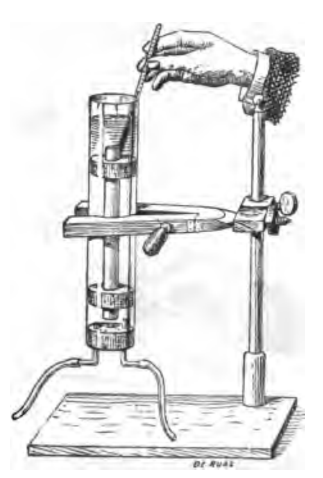


Fig. 223.

Bei der Bestimmung der Leitungsfähigkeit berücksichtige man — oder beweise

durch Vorversuche —, daß sie dem Querschnitt des Stabes und der Temperaturdifferenz an beiden Enden direkt, dagegen der Länge des Stabes umgekehrt proportional ist.

218. Wärmeübergang von einem Stoff zum andern. Man gieße in eine an einem Ende durch einen Kork geschlossene weite Messingröhre Wasser, messe die Temperatur, lasse dann die Röhre kurze Zeit auf einem Drahtdreieck in einem Wasserbad von Siedetemperatur stehen, wobei man darauf achtet, daß die beiden Wassermengen gleichhoch stehen (Fig. 224), und messe die Temperaturzunahme des inneren Wassers. Wieviel Kalorieen hat dieses während der Dauer des Versuches, wieviel in 1 Sekunde aufgenommen? Man bestimme die Oberfläche der Röhre, soweit sie vom Wasser bedeckt wird, und berechne die Wärmemenge, die in 1 Sekunde bei einem Temperaturüberschuß von 1^0 durch die Flächeneinheit von 1 qcm in das innere Wasser übergegangen ist. Der erhaltene Wert gibt die Summe der Leitungsfähigkeit für den Übergang vom Wasser ins Metall, für den Durchgang durchs Metall und für den Übergang vom Metall ins Wasser. Man vergleiche das Resultat mit dem Koeffizienten der inneren Leitungsfähigkeit des Metalles allein (Tabelle 19). Wodurch ist der Unterschied zu erklären?



Fig. 224.

Man stelle denselben Versuch mit einer dickwandigen Glasröhre an und vergleiche wieder die gefundene Gesamtleitungsfähigkeit mit der des Glases allein. Warum ist der Unterschied nur gering?

219. Wärmeleitung in Kristallen. Von einem Zwillingskristall von Gips spalte man eine dünne Platte ab. Mit der Spitze einer dreikantigen Feile, am Schleifstein geschärft, bohre man in dieses Blatt zwei Löcher, von denen das eine längs der Verbindungslinie der Spitze mit der Ecke des lanzenförmigen Einschnittes liegt. Längs der einen Blattfläche führe man die Spaltung in der Nähe der Löcher recht sorgfältig aus und überziehe diese Seite mit einer möglichst dünnen Stearin- oder Wachsschicht (Fig. 225).

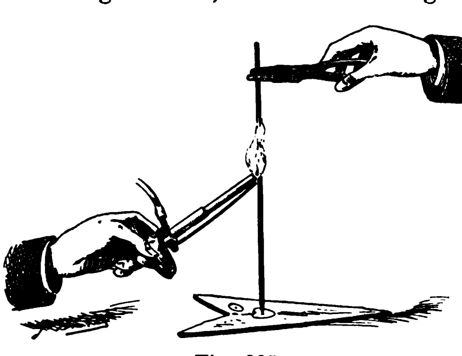


Fig. 225.

Man halte einen spitz auslaufenden Kupferstab in eines der Löcher des Gipsblattes, erwärme ihn an irgendeiner Stelle und beobachte die elliptische bezw. herzförmige Kurve, welche

die geschmolzene Stearinschicht bildet. Dann spalte man das Blatt soweit auf halbe Stärke, daß ein größerer Teil der Ellipse entfernt ist, überziehe von neuem mit Stearin und vergleiche die Wärmeleitungskurve in beiden Teilen.

Man überziehe auch den dickeren Teil und beobachte, wie die Grenzlinie beider Teile überschritten wird.

Dieselben Versuche stelle man mit einem Glimmerblättchen an.

220. Leidenfrostscher Versuch. Aus einer quadratischen Kupferplatte stelle man sich eine Schale her, indem man die Ränder mit der Zange umbiegt; den Boden durchbohre man von oben her an mehreren Stellen. Man erwärme die Schale über einem Bunsenbrenner bis zur Dunkelrotglut und gieße dann einige Tropfen Wasser hinein. Warum fließen diese Tropfen nicht durch die Löcher? Man bilde eine große Kugel und bestimme mit einem Thermoelement, ohne die Kupferplatte zuberühren, die Temperatur der Wassertropfen. Hat das Wasser Siedetemperatur? Man lasse die Platte sich abkühlen und beobachte den weiteren Verlauf der Erscheinung.

Man wiederhole den Versuch mit angesäuertem Wasser und bringe die Schale in den Stromkreis einer elektrischen Klingel, indem ein Drahtende an das Metall, das andere in das Wasser gehalten wird. Ertönt die Klingel?

221. Luft- und Wasserströmung. Die ober- und unterhalb einer ein wenig geöffneten Tür oder in der Nähe eines Kamins entstehenden Luftströme untersuche man mit Hilfe einer Wachsstockflamme oder des Tabaksrauches, welchen man langsam mittels einer Glasröhre an die gewünschte Stelle bläst. — Man beobachte den Luftstrom in einer an ihrem Ende erwärmten geneigten Glasröhre. — Die Wirkung eines Kamins ahme man mittels einer Kerze und einer geneigten, weiten Glasröhre nach (Fig. 226) — Über eine auf

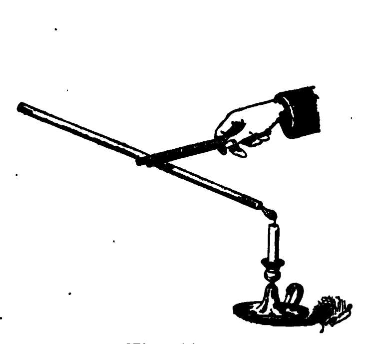


Fig. 226.

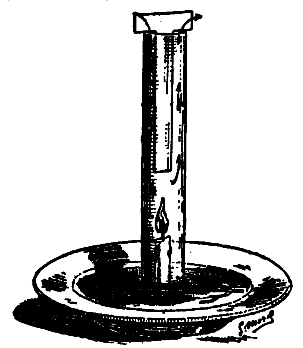


Fig. 227.

Wasser schwimmende brennende Kerze stelle man einen Lampenzylinder, so daß derselbe mit dem unteren Rande ins Wasser taucht (Fig. 227). Wenn die Kerze nahe am Verlöschen ist, hänge man

senkrecht in den Zylinder ein Blatt Papier, welches den Raum in zwei Kammern teilt. Es entsteht ein starker Luftstrom, welcher auf der einen Seite des Blattes herauf-, auf der anderen heruntergeht und ein lebhaftes Weiterbrennen der Kerze hervorruft. — Zwei rechtwinklig gebogene, durch einen kurzen Schlauch verbundene Röhren stelle man mit den freien Enden in Wasser, in welches man Sägemehl gebracht hat (Fig. 228). Man erwärme eine der beiden Röhren

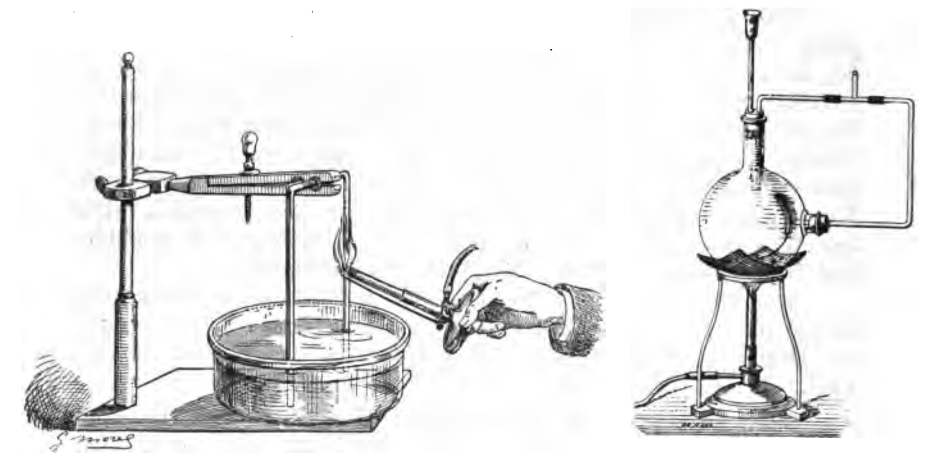


Fig. 228. Fig. 229.

und beobachte die Strömung des Wassers. — Man zeige dieselbe Erscheinung bei der aus Fig. 229 ersichtlichen Anordnung.

Wie kommen diese Bewegungen zustande? (177).

222. Absorption der Wärmestrahlen. Aus den von einer Gaslampe (Argandbrenner ohne Strumpf) ausgehenden Licht- und Wärmestrahlen blende man mit Hilfe einer Pappscheibe, in welcher sich ein Loch befindet, einen Strahlenkegel aus, den man auf ein Thermometer mit berußter Kugel oder besser auf eine Thermosäule oder auf ein Bolometer fallen läßt. Dann bereite man sich Platten aus Steinsalz, Glas, Rauchtopas, Alaun und Kupfervitriol, welche die Öffnung in der Pappscheibe gerade bedecken, und beobachte die durch sie hindurchgehende Wärmestrahlung.

Ferner untersuche man in einem Glastrog, nachdem man die Absorption der Glaswände festgestellt hat, die Durchstrahlung von Wasser und wässeriger Lösungen von Kochsalz konzentriert, Kupfersulfat konzentriert und verdünnt, doppeltchromsaures Kalium konzentriert und Rhodaneisenlösung, welche man sich herstellt, indem man in 300 gr Wasser je 20 Tropfen Rhodankalium- und Eisenchloridlösung tropfen läßt und umrührt.

Man vergleiche bei diesen Versuchen die Durchlässigkeit für Wärme- und Lichtstrahlen.

Herstellung eines Glastroges. Besitzt man nicht einen für derartige Versuche brauchbaren Glastrog, so kann man ihn sich selbst herstellen. Man schneide aus Spiegelglas, d. h. Glas mit parallel geschliffenen Flächen, zwei Stücke von 5 und 7,5 bis 7,5 und 10 cm Seitenlänge heraus, welche die durchstrahlten Seiten des Troges bilden sollen. Beim Glasschneidediamant ist stets die dem Lineal zuzukehrende Seite kenntlich gemacht. Wie man ihn zu halten hat, muß man sich auf Glasscherben ausprobieren, weil es von der Fassung des Diamanten abhängt. Hat man den Diamanten richtig angefaßt, so erhält man bei ganz leichtem Druck unter Ertönen eines scharfen Schreiens einen Strich in der Oberfläche des Glases, längs dessen es leicht bricht. Die übrigen 3 Seitenstücke können aus beliebigem, der Haltbarkeit des Klebstoffes wegen ziemlich dickem Glas geschnitten werden, ungefähr 2 cm breit. Sind diejenigen Schnittflächen, welche beim Zusammensetzen nachher auf glatte Oberflächen passen sollen, nicht ganz eben geworden, so schleift man sie auf feinem Sandstein oder der Schmirgelscheibe eben. Paßt alles gut aufeinander, so erwärme man das Glas vorsichtig, bestreiche die zusammengehörigen Flächen mit angewärmtem Kanadabalsam, setze den Trog zusammen, warte eine kurze Zeit, bis das Lösungsmittel des Balsams verdunstet ist, presse dann den Trog zusammen und lasse ihn langsam erkalten.

Mit Kanadabalsam hergestellte Tröge sind nur für Wasser und wässerige Lösungen zu benutzen, nie für Alkohol, Äther usw.

223. Wärmestrahlung. Abhängigkeit von der Oberfläche. Die Oberfläche einer Weißblechdose poliere man zu einem Drittel mit feinem Putzpulver, das zweite Drittel schwärze man mit in Terpentin angerührtem Kienruß, das letzte streiche man mattweiß an (Fig. 230). Man fülle das Gefäß mit kochendem Wasser, nähere ein Thermometer bis auf eine Entfernung von 3 cm der Reihe nach jeder der drei Flächen und notiere jedesmal die Temperatur, wenn sie stationär geworden ist. Welche Fläche strahlt am meisten aus?



Fig. 230.

Man hänge drei mit kochendem Wasser gefüllte Glaskolben, von denen einer mit Ruß geschwärzt, ein anderer außen versilbert, der dritte unverändert geblieben ist, nebeneinander auf, beobachte alle 2 Minuten die Temperaturerniedrigung in jedem Kolben, konstruiere die drei Abkühlungskurven und zeige an ihnen, daß das Strahlungsvermögen von Glas und Ruß sich wenig unterscheiden.

Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz gegen die Umgebung. Man erwärme in einer mit feinem Schmirgelpapier

polierten Messingröhre, die durch zwei Korkstöpsel verschlossen ist, von denen der eine ein Thermometer trägt, Wasser bis nahe zum Sieden, stelle dann die Röhre auf den Tisch, sie mit Wachs befestigend, und beobachte, von Zeit zu Zeit mit dem Thermometer umrührend, alle zwei Minuten die Temperatur. Man zeichne die Kurve, welche die Beobachtungszeiten als Abszissen, die Temperaturen als Ordinaten enthält. In welcher Beziehung steht die Abkühlungsgeschwindigkeit, d. h. die für je eine Minute eintretende Temperaturerniedrigung, zu der Temperaturdifferenz des Körpers gegen die Umgebung?

Man wiederhole den Versuch, nachdem man die Oberfläche mit Ruß überzogen hat, und zeichne die Kurve neben die andere.

Abhängigkeit vom Wärmeinhalt. Man fülle die Röhre der vorher angestellten Versuche mit Alkohol, vergleiche jedesmal die Kurve mit der für Wasser gefundenen. Für welche Flüssigkeit beobachtet man die größere Abkühlungsgeschwindigkeit? In welcher Beziehung steht diese zur spezifischen Wärme der Flüssigkeit?

Reflexion. Man halte die Hand einmal in ein im Innern versilbertes oder gut poliertes Gefäß, ein anderes Mal in ein ähnliches, innen berußtes, ohne aber die Wandung zu berühren. In welchem Gefäß empfängt die Hand die meisten der von ihr ausgehenden Wärmestrahlen zurück?

Tabellen.

1. Erdbeschleunigung (g).

Berlin	9,8125	Hamburg	9,8134
Breslau	9,8075	Königsberg i. Pr.	9,8144
Düsseldorf	9,8104	Leipzig	9,8113
Frankfurt a. M.	9,8098	München	9,8077
Freiburg	9,8072	Stettin	9,8132

Paris (Pavillon de Breteuil des Internationalen Bureaus für Maß und Gewicht) . . . 9,8096

2. Elastizität.

	Elastizitäts-modul kg/qcm	Elastizitäts-Grenze kg/qcm	Zugfestigkeit kg/qcm	
Stahl, gehärtet	2 200 000	7000	8000	
Schweißeisen	2 000 000	1600	3500	
Gußeisen	900 000	—	1800	
Kupfer	1 100 000	400	3000	
Aluminium	675 000	—	1200	
Blei, weich	50 000	—	125	
Glas	677 500	—	—	
Tanne	111 300	220	418 [1]	22 [2]
Eiche	92 100	230	566	58
Buche	98 000	230	357	58

3. Reibungskoeffizienten.

Schmiedeeisen auf Schmiedeeisen	0,14
Schmiedeeisen auf Gußeisen	0,20
Messing auf Gußeisen	0,19
Buchenholz auf Buchenholz (Fasern parallel)	0,36
Eichenholz auf Eichenholz (Fasern parallel)	0,48
Eichenholz auf Eichenholz (Fasern gekreuzt)	0,32
Eisen auf Eis (Schlittschuhe)	0,016 bis 0,032

[1] In der Richtung der Fasern. [2] Radial.

4. Spezifische Gewichte.

Aluminium	2,60	Kautschuk	0,92 bis 0,99
Blei	11,37	Marmor	2,65 „ 2,80
Eisen	7,86	Messing	8,40 „ 8,67
Gold	19,32	Paraffin	0,87 „ 0,93
Kohle, Diamant	3,52	Wachs	0,96 „ 0,97
Graphit	2,3		
Kupfer	8,92		lufttrocken
Platin	21,50	Buche	0,62 bis 0,82
Quecksilber 0°	13,5956	Ebenholz	1,26
Schwefel, rhomb.	2,07	Eiche	0,69 „ 1,03
monokl.	1,96	Fichte	0,35 „ 0,60
Silber	10,53		
Zink	7,15	Azeton	0,793
Zinn	7,29	Alkohol	0,794
		Anilin	1,022
Bergkristall	2,60	Benzol	0,880
Glas, gewöhnliches	2,5 bis 2,7	Chloroform	1,478
leichtes Flint-	3,1 „ 3,4	Glycerin	1,260
schweres Flint-	3,6 „ 3,9	Schwefelkohlenstoff	1,292
Eis	0,88 „ 0,92	Toluol	0,886

Luft	0,001293	—
Ammoniak	0,001628	36,46
Chlorwasserstoff	0,000762	17,07
Kohlenoxyd	0,001251	28,00
Kohlensäure	0,001965	44,00
Sauerstoff	0,001429	32,00
Stickstoff	0,001255	28,08
Wasserstoff	0,0000896	2,02

% = ... gr in 100 gr Lösung; s = spez. Gewicht bei Zimmertemperatur.

NH_3		KOH		NaOH		HCl		HNO_3		H_2SO_4	
%	s	%	s	%	s	%	s	%	s	%	s
9	0,9631	10	1,083	10	1,115	10	1,049	25	1,151	25	1,182
18	0,9314	30	1,288	30	1,332	20	1,100	50	1,316	50	1,399
27	0,9052	50	1,539	50	1,540	30	1,152	75	1,441	75	1,675
36	0,8844	70	1,790	70	1,748	39	1,200	100	1,523	100	1,839

NaCl		$Na_2CO_3 + 10H_2O$		$Na_2S_2O_3 + 5H_2O$		$Na_2SO_4 + 10H_2O$		Alkohol C_2H_5OH		Zucker $C_{12}H_{22}O_{11}$	
%	s	%	s	%	s	%	s	%	s	%	s
7	1,051	10	1,039	5	1,026	7	1,028	25	0,965	15	1,061
14	1,104	20	1,079	20	1,109	14	1,056	50	0,916	35	1,154
21	1,159	30	1,118	35	1,199	21	1,086	75	0,861	55	1,261
26	1,201	38	1,152	50	1,295	30	1,125	100	0,794	75	1,384

Wasser.

Temperatur	spez. Gewicht	Vol. von 1 gr
−10	0,99815	1,00186
0	0,99987	1,00127
4	1,00000	1,00000
10	0,99974	1,00265
20	0,99825	1,00751
50	0,98813	1,01201
75	0,97495	1,02569
100	0,95863	1,04315

5. Koeffizient der inneren Reibung von Flüssigkeiten.

Äther	15°	0,00256
Alkohol	15°	0,00156
Glyzerin	14,3°	13,87
Rüböl	13,9°	2,82
Wasser	0°	0,01809
	10°	0,01326
	15°	0,01150
	20°	0,01016
	30°	0,00812
	50°	0,00570

6. Oberflächenspannung.

Äther	16°	1,892
Alkohol	15°	2,365
Olivenöl	13°	3,270
Petroleum	18°	2,441
Quecksilber	16,5°	6,988
Terpentinöl	21°	2,722
Wasser	0°	7,923
	10°	7,750
	15°	7,663
	20°	7,574
	50°	7,026
	100°	6,042

7. Schallgeschwindigkeit.

	m/sec		m/sec
Luft	332	Kupfer	3800
Kohlensäure	270	Glas	5600
Ammoniak	415	Tannenholz	4800
Wasserstoff	1280	Wasser	1450
Eisen	4900		

8. Durtonleiter.

c	d	e	f	g	a	h	c_1
24	27	30	32	36	40	45	48

9. Schwingungszahl.

$a_1 = 435$

10. Bezeichnung der Oktaven.

c_{-3} c_{-2} c_{-1} c_0 c_1 c_2 c_3 c_4 c_5

11. Thermometrische Fixpunkte.

Siedepunkt des Wasserstoffes	− 252
Siedepunkt des Sauerstoffes	− 182
Schmelzpunkt des Quecksilbers	− 38,8
Schmelzpunkt des Eises	0
Siedepunkt des Alkohols	$+ 78{,}3 + \frac{b - 760}{29{,}7}$
Siedepunkt des Wassers	$100 + \frac{b - 760}{27{,}25}$
Siedepunkt des Anilins	$184{,}1 + \frac{b - 760}{19{,}6}$
Siedepunkt des Naphthalins	$218 + \frac{b - 760}{17{,}1}$
Schmelzpunkt des Zinns	228
Schmelzpunkt des Bleies	327
Siedepunkt des Quecksilbers	$357 + \frac{b - 760}{13{,}3}$
Schmelzpunkt des Zinkes	419
Siedepunkt des Schwefels	$445 + 0{,}8\,(b - 760)$
Siedepunkt des Zinkes	920
Schmelzpunkt des Silbers	961,3
Schmelzpunkt des Goldes	1063,5
Schmelzpunkt des Palladiums	1500
Schmelzpunkt des Platins	1775
Schmelzpunkt des Iridiums	1950
Schmelzpunkt des Tantals	2250

12. Schätzung heißer Temperaturen.

Beginn des Sichtbarwerdens	500°	Orange	1100°
Dunkelrot	700°	Hellorange	1200°
Kirschrot	900°	Weiß	1300°
Hellkirschrot . . .	1000°	Blendend	>1500°

13. Lineare Ausdehnung durch Wärme.

$$l = l_0 (1 + \alpha t)$$

	α
Blei	0,000 028 48
Eisendraht	0,000 012 35
„ Guß-	0,000 010 67
Glas	0,000 008 42
Kupfer	0,000 016 43
Messingdraht	0,000 019 33
„ gegossen	0,000 018 75
Platin	0,000 008 84
Nickelstahl (36 % Nickel, 64 % Stahl)	0,000 000 88
Holz quer	0,00003 bis 0,00006
„ längs	0,000003 „ 0,000010

14. Kubische Ausdehnung durch Wärme.

$$v = v_0 (1 + \beta t); \ \beta = 3 \alpha$$

	β		β
Äther	0,002 101	Petroleum	0,000 992
Benzol	0,001 385	Quecksilber	0,000 182 16
Chloroform	0,001 399	Terpentinöl	0,001 051
Eis	0,000 105	Wachs	0,000 690
Glas	0,000 025		
Glyzerin	0,000 534	Gase	0,003 665
Olivenöl	0,000 742		

15. Schmelz- und Siedepunkt, Schmelz- und Verdampfungswärme.

	Schmelzpunkt	Schmelzwärme	Siedepunkt	Verdampfungsw.
Äther	−117	—	34,9	90,5
Alkohol	—	—	78	209
Benzol	4,5	30	80,4	93
Naphthalin	79,2	35,6	218	84
Quecksilber	−39	2,8	357	62
Schwefel rhomb.	115	9,4	448	362
Schwefelkohlenstoff	—	—	46	85
Wasser	0	80,0	100	537

16. Spezifische Wärme.

	Atomgewicht	Spezifische Wärme	Atomwärme
Aluminium	27,1	0,2211	5,98
Eisen	56,0	0,1130	6,33
Kupfer	63,6	0,0942	5,98
Zink	65,4	0,0938	6,14

Spezifische Wärme (Fortsetzung).

	Atomgewicht	Spezifische Wärme	Atomwärme
Silber	107,9	0,0568	6,12
Zinn	118,5	0,0559	6,62
Platin	194,8	0,0326	6,35
Gold	197,2	0,0316	6,23
Quecksilber	200,3	0,0328	6,57
Blei	206,9	0,0315	6,52

Alkohol	0,60	Messing	0,0883
Benzol	0,38	Petroleum	0,51
Eis	0,505	Quarz	0,188
Glas	0,12 bis 0,19	Schwefelkohlenstoff	0,24
Glyzerin	0,58	Terpentinöl	0,43

	c_p	c_p/c_v
Luft	0,238	1,40
Ammoniak	0,508	1,30
Chlorwasserstoff	0,158	1,40
Kohlenoxyd	0,245	1,40
Kohlensäure	0,217	1,30
Sauerstoff	0,218	1,40
Stickstoff	0,244	1,40
Wasserstoff	3,409	1,40
Quecksilberdampf	—	1,66

17. Dampfdruck des Wassers.

Temperatur	Druck
−19	1,03 mm Quecksilber
−10	2,15 „ „
0	4,57 „ „
+10	9,14 „ „
20	17,36 „ „
30	31,51 „ „
40	54,87 „ „
60	148,9 „ „
80	354,9 „ „
100	760,0 mm = 1,00 Atm.
125	2,29 „
150	4,71 „
175	8,97 „
200	15,38 „
230	27,50 „